

# ANNALEN — DER PHYSIK.

BEGRÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH

F. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. U. E. WIEDMANN, P. DRUDE.

VIERTE FOLGE.

BAND 64.

DER GANZEN REIHE 369. BAND.

KURATORIUM:

M. PLANCK, G. QUINCKE, W. C. RÖNTGEN,  
E. WARBURG.

UNTER MITWIRKUNG  
DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

HERAUSGEHEN VON

W. WIEN UND M. PLANCK.

MIT EINER FIGURENTAFEL.



LEIPZIG, 1921.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.



1921.

MAR 19 1921

No. 1 u. 2.

UNIVERSITY LIBRARY  
MAR 21 1921  
ANNALEN  
UNIV. OF MINN.

# DER PHYSIK.

BRÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH

F. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. U. E. WIEDEMANN, P. DRUDE.

## VIERTE FOLGE.

Band 64. Heft 1 u. 2.

DER GANZEN REIHE 360. BANDES 1. u. 2. HEFT.

### KURATORIUM:

M. PLANCK, G. QUINCKE,  
W. C. RÖNTGEN, E. WARBURG.

### UNTER MITWIRKUNG

DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

HERAUSGEGEBEN VON

W. WIEN UND M. PLANCK.



acc 7/7/21  
Title

LEIPZIG.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.  
DÖRRIENSTRASSE 16.

Bestellungen auf die „Annalen“ werden von allen Buchhandlungen und von  
der Verlagsbuchhandlung angenommen. Im Jahre 1921 erscheinen Bd. 64,  
65 und 66 à 8 Hefte. Preis von Bd. 64 M 60.—  
Nach dem Ausland in der Währung des betr. Landes.  
Ausgegeben am 20. Januar 1921.

M.

## Inhalt.

- |   | Seite |
|---|-------|
| 1. W. C. Röntgen. Über die Elektrizitätsleitung in einigen Kristallen und über den Einfluß einer Bestrahlung darauf . . . . . | 1     |
| 2. B. Pogány. Weitere Untersuchungen über den Faradayeffekt nicht ferromagnetischer Metalle . . . . .                         | 196   |

Die Redaktion der Annalen wird von den umseitig genannten Herren besorgt. Den geschäftlichen Teil hat Herr Geh. Hofrat Prof. W. Wien übernommen, an den auch Manuskripte zu senden sind. Seine Adresse ist: München, Leopoldstraße 91.

Es wird gebeten, die Manuskripte druckfertig einzuliefern und in den Korrekturen den beim Druck für sie verwendeten Raum nicht zu überschreiten.

Für die Aufnahme von Dissertationen gelten besondere Bedingungen, welche vom Verlag bekannt gegeben werden.

Die Verlagsbuchhandlung liefert 100 Sonderabdrücke jeder Arbeit kostenfrei. Falls ausnahmsweise mehr gewünscht werden, so muß dies bei Rücksendung des ersten Korrekturbogens an die Druckerei auf dessen erster Seite bemerkt werden. Alle anderen, die Sonderabdrücke betreffenden Mitteilungen bittet man an die Verlagsbuchhandlung zu richten.

Anderweitiger Abdruck der für die Annalen bestimmten Abhandlungen oder Übersetzung derselben innerhalb der gesetzlichen Schutzfrist ist nur mit Genehmigung der Redaktion und Verlagsbuchhandlung gestattet.

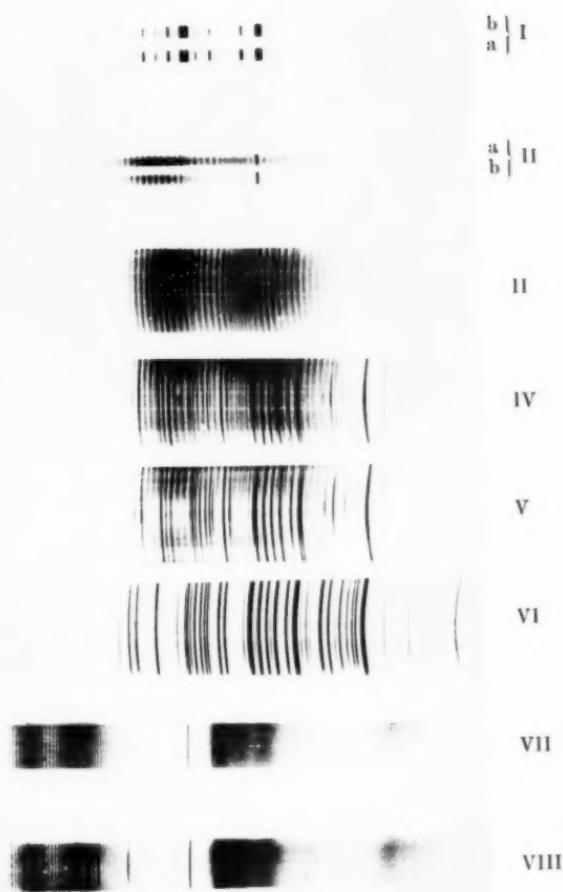
Die Zeichnungen sind in möglichst sorgfältiger Ausführung den Abhandlungen auf besonderen Blättern beizulegen (nicht in das Manuskript selbst einzuseichnen). Da die Figuren fortan möglichst in den Text eingefügt werden sollen, ist die Stelle des Manuskriptes recht genau anzugeben, wo sie hingehören.

Zitate sind am Rande oder unten auf den Seiten des Manuskriptes (nicht in dem Text selbst) und zwar möglichst in der in den „Fortschritten der Physik“ üblichen Form mit Angabe des Namens und Vornamens, der Band-, Seiten- und Jahresszahl aufzuführen.

en  
en  
ise  
  
in  
zu  
  
en,  
  
seit  
dies  
sen  
en-  
  
nd-  
rist  
tet.  
den  
nu-  
den  
nau  
  
ptes  
itten  
ens,



**Spektraltafel.**



W. Steubing.



# ANNALEN DER PHYSIK.

## VIERTE FOLGE. BAND 64.

*1. Über die Elektrizitätsleitung in einigen  
Kristallen und über den Einfluß einer  
Bestrahlung darauf;  
von W. C. Röntgen.*

Zum Teil in Gemeinschaft mit A. Joffé.

*Zweiter Teil.<sup>1)</sup>*

Bei der mit Hrn. Joffé seiner Zeit angefangenen Untersuchung über den Einfluß einer X-Bestrahlung auf die Leitfähigkeit von Dielektrika wurden außer Kalkspat und Quarz eine Anzahl von verschiedenen Substanzen einer Prüfung unterworfen. Es zeigte sich u. a., daß Steinsalz und einige andere Körper nicht in ähnlicher Weise von X-Strahlen beeinflußt wurden wie Kalkspat, indem ihre Leitfähigkeit im Dunkeln nur verhältnismäßig wenig durch eine Bestrahlung erhöht werden konnte. Dagegen ergab sich auffallenderweise — auch im Gegensatz zum Verhalten des Kalkspats —, daß das Steinsalz durch X-Bestrahlung für Licht empfindlich zu machen war, indem seine Leitfähigkeit nach Bestrahlung bei Tageslicht wesentlich größer erschien als im Dunkeln. Diese Erscheinung ist dann später ausführlich untersucht worden, und ich erlaube mir im folgenden das Ergebnis, sowie das von sich anschließenden Versuchen mitzuteilen.

Um die Veränderung, die das Steinsalz durch Bestrahlung erfährt, genauer kennen zu lernen, hielt ich es für nötig, zunächst einmal über die Leitfähigkeit des unbestrahlten Steinsalzes eigene Erfahrungen zu sammeln; zwar liegen über diesen Gegenstand Untersuchungen vor von den Herren Curie

1) Der erste Teil dieser Veröffentlichung wurde in Ann. d. Phys. 41. S. 449. 1913 abgedruckt. Die meisten Teile der Versuchsanordnung, die auch fernerhin im wesentlichen beibehalten wurde, sind dort beschrieben. Von den mit Kalkspat erhaltenen Versuchsergebnissen ist ein kurzer, unvollständiger Bericht in den Sitzungsberichten der bayer. Akademie 1907. S. 113 gegeben. Über das Verhalten des Quarzes findet sich Einiges in der Dissertation von A. Joffé, München 1905 und in Ann. d. Phys. 20. S. 964. 1906.

und Braun, doch schienen mir diese Untersuchungen für unsere Zwecke nicht ausreichend zu sein, und außerdem hegte ich anfänglich die Hoffnung, über das Wesen der sogenannten Leitung im Steinsalz Aufschluß zu erhalten. Diese Hoffnung hat sich aber leider kaum erfüllt. In Anbetracht dieser Sachlage habe ich eine Zeitlang geschwankt, ob ich über diesen Teil der Untersuchung — Verhalten des unbestrahlten farblosen Steinsalzes im elektrischen Felde —, die sehr viel Zeit in Anspruch genommen hat, überhaupt eine ausführliche Mitteilung veröffentlichen sollte oder nicht. Allein die Überlegung, daß der Leser doch mit den Schwierigkeiten der Versuche und den darin verbliebenen Unsicherheiten bekannt sein muß, um die Zuverlässigkeit der Versuche mit X-bestrahltem und mit natürlich gefärbtem NaCl, die den bedeutendsten Teil der im folgenden mitgeteilten Untersuchungen bilden, beurteilen zu können, hat mich zu einer Veröffentlichung bestimmt. Gerade bei den Versuchen mit unbestrahltem NaCl ließen sich jene Schwierigkeiten am besten erkennen. Auch für spätere Untersuchungen über diesen Gegenstand liefern meine Erfahrungen m. E. einige nützliche Winke.

#### **Untersuchung von unbestrahltem, farblosem Steinsalz.**

Ich wähle für diese Veröffentlichung aus den vielen Versuchsreihen zunächst eine, die sich zu dem angegebenen Zweck am besten eignet; sie dehnt sich über einige Jahre aus und ist mit ein und derselben Platte ausgeführt. Zunächst sei etwas allgemeines über Versuchsordnung usw. mitgeteilt.

Aus den früheren Arbeiten über die Leitfähigkeit des NaCl war bekannt, daß das ungefärbte NaCl, wie es in der Natur vorkommt, jedenfalls ein ungemein schlechter Leiter ist (Braun gibt für den spezifischen Widerstand parallel der Würfelnormale den Wert  $1,25 \cdot 10^{17}$  Ohm/cm bei  $18^\circ$  an), dementsprechend war bei einer mit verbesserten Mitteln zu unternehmenden Fortsetzung dieser Versuche dafür zu sorgen, daß ein genügend hohes, konstantes Spannungsgefälle zur Verfügung stand, was durch Anwendung von 0,2—0,3 cm dicken fehlerfreien Steinsalzplatten und einer Bornhäuserschen Hochspannungsbatterie auch erreicht wurde. Da die früher beschriebene<sup>1)</sup> Anordnung zur Aufnahme der Kristallplatte

---

1) a. a. O., S. 456.

beibehalten blieb, konnte keine Platte verwendet werden, deren Kantenlänge größer als etwa 3 cm war; die größte benutzte Fläche der unteren mit Schutzring versehenen, mit dem Elektrometer zu verbindenden Elektrode betrug deshalb nicht mehr als etwa 3 qcm. Diese Belegung wurde bei der größeren Anzahl von Versuchen dadurch hergestellt, daß die mit Bimstein und absolutem Alkohol auf matter Glastafel fein matt geschliffene und darauf mit hartem Pinsel gut abgestäubte Steinsalzfläche mit Graphit (Bleistift Harthmuth H. B.) sorgfältig und möglichst gleichmäßig bis auf einen etwa 0,02 cm breiten kreisförmigen Isolierstreifen, dessen Grenzen mit härterem Bleistift nachgezogen wurden, eingerieben wurde. Kontaktfehler an diesen Graphitbelegungen haben sich zwar nicht bemerkbar gemacht, eine Betrachtung der graphitierten Fläche mit der Lupe ließ aber doch den Verdacht auftreten, daß sie vielleicht nicht genügend vollständig bedeckt sei. Es wurde deshalb später bei einigen Platten durch Kathodenbestäubung eine Silberbelegung hergestellt (vgl. unten S. 37). Da diese Belegung keine anderen Ergebnisse für die Leitfähigkeit lieferte als eine entsprechende Graphitbelegung, wurde die einfachere, beschriebene Art häufig beibehalten.

Die obere, zur Aufnahme der Hochspannung bestimmte Belegung konnte nicht immer aus Graphit bestehen, weil sie manchmal für Licht und zwar für einen großen Bereich der Strahlen des Spektrums durchlässig sein sollte. Mit bestem Erfolg wurde reines Glyzerin verwendet, das durch längeres Stehen und häufiges Umschütteln mit Chlornatrium gesättigt war, um zu vermeiden, daß etwas von der Steinsalzplatte im Laufe der langen Versuchsdauer aufgelöst wurde. Welche Bedeutung eine solche Auflösung, ein Dünnerwerden und die dadurch bewirkte Kapazitätsvermehrung der Platte für die Versuche haben könnte, geht aus folgendem Beispiel hervor. Das Anlegen einer Spannung von etwa 2 Volt lieferte bei einer 0,2 cm dicken Platte eine Menge Influenzelektrizität, die sich an dem mit der unteren Belegung verbundenen Elektrometer durch einen Ausschlag von etwa 10 Skalenteilen bemerkbar machte. Bei der Untersuchung auf Leitfähigkeit wurde die Platte mit etwa 1500 Volt Spannung geladen und es war erwünscht, noch einen in 4—5 Minuten auftretenden durch Leitung verursachten Elektrometerausschlag von

0,2 Skalenteilen einigermaßen sicher beobachten zu können; dann dürfte sich aber, wie eine einfache Rechnung zeigt, in dieser Zeit die Dicke der Platte nicht um  $50 \mu\mu$  ändern. Ich fand in dem reichlich vorhandenen Beobachtungsmaterial keinen Fall, wo derartige störende Dickenänderungen vorkommen wären.

Zur Aufnahme der Glyzerin-Salzlösung diente ein niedriges von einem Reagenzglas abgesprengtes Glaszyllерchen, das auf der Steinsalzplatte aufgekittet war. Um dieses Aufkitten zu bewerkstelligen, wurde das Zylinderchen zuerst mit seinem untern Rand in flüssigem Kolophoniumwachskitt möglichst wenig eingetaucht und dann nach Abkühlung auf die Steinsalzplatte gesetzt. Beide zusammen kamen dann auf einer Glasplatte zu liegen, die über einer Spirituslampe so weit erwärmt wurde, bis der Kitt gleichmäßig geschmolzen war. Der kleine, am inneren Rand vorhandene Kittwulst wurde nach Abkühlung sorgfältig zuerst mit dem Messer und dann mittels Chloroform entfernt, was sich als sehr nötig erwiesen hatte, um bei der Ladung elektrische Nachwirkungsscheinungen zu vermeiden. In dieser Weise hergestellte Steinsalzpräparate ließen sich viele Monate lang in einem mittels Schwefelsäure getrockneten Exsikkator für einen sofortigen Gebrauch ver-

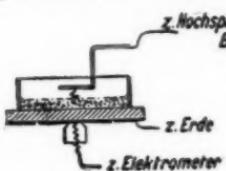


Fig. 1.

wendbar aufbewahren. Neben-  
stehende Fig. 1 verdeutlicht die  
beschriebene Anordnung. Die  
Weite des Glaringes betrug bei  
den beschriebenen Versuchen zuerst  
2,55 cm, später 2,85 cm.

Bezüglich der durch den  
zwischen Schutzring und zentraler

Belegung vorhandenen unbedeckt gebliebenen Streifen bewerk-  
stelligen Isolation ist zu bemerken, daß dieselbe vorzüglich,  
sogar besser als die von einigen Teilen des Elektrometers war,  
wenn das unbestrahlte und nicht beleuchtete Steinsalzpräparat  
sich eine genügend lange Zeit in dem zwei mit  $H_2SO_4$  gefüllte  
Gefäße enthaltenden, zu den Leitungsversuchen verwendeten  
Zinkkästchen befunden hatte.

Als Versuchsmaterial dienten Steinsalzplatten von sehr  
verschiedener Herkunft. Alle Flächen waren bei jeder Platte,  
mit Ausnahme von einer, zu den allerletzten Versuchen ver-

wendeten, senkrecht zu den Oktaederflächen geschliffenen, parallel der Würfelnormale orientiert. In bezug auf ihre Homogenität und Reinheit ist folgendes zu erwähnen. Bei der Untersuchung von anscheinend klaren Steinsalzstücken mit konzentriertem Bogenlicht erkennt man in manchen wolkige Trübungen oder auch kleine Stellen, die durch Reflexion hell aufleuchten und die meistens in ebenen Flächen angeordnet sind; solche Stücke sind natürlich nicht zu verwenden. Die maßgebendsten Versuche, und nur über solche soll hier berichtet werden, wurden mit von Hrn. Steeg und Reuter bezogenen, vor ihrer Belegung hochpolierten und bei der optischen Prüfung fehlerfrei befundenen Platten erster Qualität angestellt. Inwieweit auch solche vorzügliche Präparate wirklich völlig homogen und chemisch rein sind, entzieht sich der Beobachtung. Daß derartige Materialfehler die Versuchsergebnisse recht beeinflussen können, möchte ich aus der Wahrnehmung schließen, daß Steinsalzplatten, die wir aus vorhandenem, nicht besonders sorgfältig vorher geprüftem Material selbst abgespalten hatten, häufig quantitativ verschiedene Resultate lieferten. Im folgenden kommen hauptsächlich Versuche mit drei verschiedenen Platten ausführlich zur Sprache, die als alte, neue und neueste Platte bezeichnet werden sollen.

Die verwendeten Apparate und ihre Anordnung wurden in der Hauptsache a. a. O. beschrieben. Eine wesentliche Verbesserung bestand darin, daß jetzt alle im großen Blechkasten untergebrachten Leitungen und Wippen noch in besonderen geerdeten Metallhüllen untergebracht waren, wobei wieder ausnahmslos hartes Paraffin als Isolationsmaterial zur Verwendung kam.

Ich führe nun gleichzeitig als Beispiel für die folgenden Versuche in etwas ausführlicher Weise, aber immerhin noch im Auszug einen mit der vorhin kurz erwähnten „alten“ Steinsalzplatte angestellten Versuch an.

Die klare, polierte, optisch fehlerfreie, fast vollkommen optisch isotrope Steinsalzplatte, die seit Jahren meines Wissens nur zu Versuchen über Wärmestrahlung gebraucht und jedenfalls absichtlich nicht einer X-Strahlung ausgesetzt worden war, wurde mit den oben beschriebenen Belegungen versehen; ihre Dimensionen waren: Breite und Länge etwa 9 cm, Dicke 0,21

bis 0,22 cm. Die untere Fläche war bis auf einen zentralen Ring von 2,15 cm innerem und 2,18 cm äußerem Durchmesser mit Graphit sorgfältig überzogen. Das Glyzerinkochsalzlösung enthaltende aufgekittete Gläschen hatte einen Durchmesser von 2,55 cm. Nachdem die Platte in der früher angegebenen Weise mit ihrer Fassung versehen in einem der beiden Zinkkästchen aufgestellt und mit den nötigen elektrischen Leitungen verbunden worden war, blieb sie mit ihren Belegungen zur Erde abgeleitet mehrere Stunden zum Zweck des Abtrocknens ohne weitere Beanspruchung stehen. In dieser Zwischenzeit wurde die Elektrometeradel auf die richtige Spannung gebracht, was besonders stets recht frühzeitig geschehen mußte, damit die Spannung während des eigentlichen Versuchs genügend unverändert blieb, sonst traten leicht unliebsame kleine Nullpunktsverlegungen der Nadel während des Versuchs auf. Um kleine, durch thermische Wirkungen hervorgebrachte Nullpunktsverschiebungen zu vermeiden, wurde die den Lichtzeiger auf der Skala erzeugende Einfadenlampe einige Zeit vor dem Versuch angezündet, und um den Fehler einer kleinen elastischen Nachwirkung der Elektrometeradelaufhangung zu vermeiden, fand auch die Bestimmung der Elektrometerempfindlichkeit — durch Anlegen eines Normalelements an die Leitung (a. a. O. S. 461) — sowie die gleich nachfolgende Prüfung der Isolation des Isolerringes der Platte — durch Bestimmung der in 2 Minuten stattfindenden Abnahme des durch das Normalelement erzeugten Ausschlag bei Ableitung der oberen Plattenelektrode zur Erde — entweder etwas längere Zeit vor dem eigentlichen Versuch oder erst nach Beendigung desselben statt. Im Falle eine neue Platte oder eine Platte mit veränderter Belegung zur Verwendung kam, wurde noch der Elektrometerausschlag bestimmt, der infolge von Influenz beim Anlegen einer bekannten Spannung an die obere Plattenelektrode bzw. beim Entfernen von ihr entstand. Er betrug für die besprochene Platte für 1 Volt 5,12 Skalenteile. Kurz vor dem Versuch fand die Bestimmung der Plattentemperatur durch Ablesen des am Kästchen angebrachten Thermometers statt; dieselbe Bestimmung wurde am Schluß des Versuchs wiederholt. Schließlich mußte noch, wenn möglich, jedesmal vor Anfang der Bestimmung der Leitfähigkeit (L.-F.) der sogenannte

selbständige Gang des Elektrometers, d. h. die Bewegung dessen Lichtzeigers beobachtet werden, die auftritt, wenn die Erdleitung des mit der Steinsalzplatte zu verbindenden Quadrantenpaars aufgehoben wird (vgl. a. a. O. S. 464 und weiter unten in dieser Mitteilung), und zwar das eine Mal ohne, das zweitemal mit Zuschaltung dieser Platte, deren obere Belegung zur Erde abgeleitet ist. Bei der Auswertung der Beobachtung über die L.-F. wurde angenommen, daß die letztere Bewegung sich einfach in vollem Betrage zu den bei jeder Beobachtung aufgetretenen Elektrometerausschlägen addiert hatte. Nach dem Versuch wurde mit Hilfe eines Braunschen Elektrometers die Ladespannung gemessen.

Der eigentliche Versuch zur Bestimmung der Leitfähigkeit ging in folgender Weise vonstatten. Der vor der Elektrometer-skala sitzende Beobachter las zunächst den Stand des Lichtzeigers des geerdeten Elektrometers ab (den Nullpunkt), zog dann die Wippe  $W_3$  und brachte dadurch die bis dahin nur geerdete, untere Belegung der Steinsalzplatte in leitende Verbindung mit der geerdeten Elektrometerleitung; er legte darauf beim Schlag eines von einer sehr guten Pendeluhr elektrisch betriebenen Sekundenklopfers die Akkumulatorenspannung an die obere Plattenbelegung durch Ziehen der Wippe  $W_8$  an und zog zuletzt beim nächstfolgenden Sekundenschlag die Wippe  $W_2$ , wodurch die Erdung des Elektrometerquadranten und der Platte aufgehoben wurde.<sup>1)</sup> In dieser einen Sekunde hatte die durch Anlegen der Spannung erzeugte Influenzelektrizität Zeit zum verschwinden, und die nach dieser Zeit eintretende Nadelbewegung blieb deshalb, von einer eventuellen Rückstandsbildung abgesehen, davon unberührt. Diese Bewegung der Nadel wurde nun in regelmäßigen Zeitintervallen durch

1) Der linke Bügel dieser Wippe stand in der Stellung, bei der das Elektrometer geerdet war, in von der Erde isolierter Verbindung mit dem negativen Pol des Normalelementes und lud sich anfänglich trotz Isolation des positiven Poles etwas negativ auf. Bei dem erwähnten Umlegen der Wippe influenzierte sie dann in der benachbarten Elektrometerleitung etwas positive Elektrizität, die sich durch einen kleinen (etwa 0,3 Skt.) Ausschlag bemerkbar machte. Um diesen störenden Ausschlag zu vermeiden, wurde vor jedem Versuch mit der Platte der negative Elementenpol geerdet und erst wieder isoliert, wenn eine neue Bestimmung der Elektrometerempfindlichkeit gemacht werden sollte.

Beobachtung des Lichtzeigers verfolgt; als Intervall behielt ich wenigstens für den Anfang des Versuchs die Zeit von 5 Sekunden gewohnheitshalber fast bei allen Versuchen bei, später folgte, wie aus Tab. I ersichtlich ist, eine längere Beobachtungsperiode; wo es anging, vermied ich langdauernde Ausschläge um das Anbringen einer Korrektion wegen Isolationsfehler zu vermeiden und leitete lieber von Zeit zu Zeit die dem Elektrometer zugeführte Elektrizität zur Erde ab, um darauf die Messung der Zufuhr wieder fortzusetzen.

Der später folgende Entladungsversuch verlief in entsprechender Weise.

In der Tab. I sind die ersten Ergebnisse der auf S. 5 erwähnten, längeren Untersuchung mit der „alten“ Platte, ein Ladungs- und der dazu gehörende Entladungsversuch in abgekürzter Form mitgeteilt. (Vgl. S. 10 u. 11.)

Aus diesen Werten ist zunächst nicht viel mehr zu entnehmen, als was schon aus den Arbeiten von Curie und Braun bekannt ist: eine anfänglich rasche, gegen Ende des Ladungsversuchs sehr viel langsamer werdende Abnahme der durch die Steinsalzplatte vermittelten, auf gleiche Zeiten bezogenen Elektrizitätsmengen.

Würde man nach einem freilich wenig begründeten Vorschlag von Hrn. Braun zur Berechnung der L.-F. des NaCl den am Elektrometer etwa 24 Stunden nach Anlegen der Spannung erhaltenen Wert, hier 0,6 Skalenteile in 240 Sekunden zugrunde legen, so ergäbe sich unter Verwendung der auf S. 473 a. a. O. angegebenen Skalenteilenwerte in elektrostatischen Einheiten und unter Berücksichtigung der Kapazität der benutzten Steinsalzplatte, etwa 8 cm, deren spezifischer Widerstand zu rund  $6 \cdot 10^{18}$  Ohm/cm. Hr. Braun fand für seine gleich orientierte Platte  $1,25 \cdot 10^{17}$  Ohm/cm, also einen etwa 50mal kleineren Wert.

Leider hat die Untersuchung keine ganz sicheren Anhaltspunkte für die Beantwortung der Frage geliefert, ob dem Steinsalz eine Leitfähigkeit in dem Sinne zukommt, daß es imstande wäre unter der Wirkung einer angelegten, konstanten Spannungsdifferenz dauernd eine gleichbleibende Menge Elektrizität pro Sekunde zu befördern. Aus der Tabelle kann man

nicht entnehmen, daß die in 4 Minuten beförderten Mengen sich nach einer 24stündigen Ladung in den folgenden 9 Tagen nicht mehr geändert hätten; denn wenn auch einzelne Zahlen zu einer solchen Folgerung verführen könnten, so ist doch zu beachten, daß diese Werte bereits so klein sind, daß wir mit ihnen die Grenze der Leistungsfähigkeit der Meßmethode erreicht haben. Die in der Zeiteinheit beförderten Elektrizitätsmengen können konstant, aber auch ebensogut noch immer kleiner geworden sein. Eine Andeutung für die Möglichkeit des Vorbandenseins einer elektrolytischen Leitung gibt die aus den beiden vorletzten Bestimmungen des Ladungsversuches hervorgehende Tatsache — die später noch der Gegenstand einer besonderen Untersuchung wurde (vgl. unten S. 83 u. 69) —, daß jene Mengen in starkem Maß mit zunehmender Temperatur wachsen. Wenn ich im folgenden den Ausdruck „Leitfähigkeit“ (L.-F.) häufig gebrauche, so geschieht das lediglich zur Abkürzung; mit der Angabe der L.-F. soll, wie ausdrücklich betont werden muß, nichts weiter bezeichnet werden, als daß die Platte in dem Zeitpunkt, wo dieser so bezeichnete Wert gefunden wurde, eine gewisse auf die Zeiteinheit reduzierte Elektrizitätsmenge zu dem Elektrometer beförderte von demselben Betrage, wie es ein an die Stelle des NaCl gesetzter Leiter von der angegebenen L.-F. unter gleichen Umständen getan haben würde. Auch der Ausdruck „Stromstärke“ wird mehrmals verwendet werden; darunter soll immer nur eine in einer gewissen Zeit zum Elektrometer beförderte Elektrizitätsmenge verstanden werden, ohne damit eine bestimmte Vorstellung von d e r Natur dieses Vorganges zu verbinden.

Der am 11. Tag nach dem Anlegen der Ladung unternommene Entladungsversuch hat, wie die Tabelle zeigt, eine sehr gute Bestätigung eines speziellen Falles des von Hopkinson gefundenen und von Curie bestätigten Superpositionsgesetzes geliefert. Nach diesem Gesetz soll sich der zeitliche Verlauf der nach einer plötzlich vorgenommenen Änderung der Ladespannung beförderten Elektrizitätsmenge in der Weise von vornherein numerisch angeben lassen, daß man den als beobachtet vorausgesetzten, zeitlichen Verlauf der durch eine Spannung von der Größe dieser Spannungsänderung in einer vorher unbenutzten (nicht geladenen) Platte beförderten Elektrizitätsmengen durch einfache Superposition mit dem Verlauf

Tabelle I.

## Ladungsversuch.

Empfindlichkeit (anfänglich): 169 Skalenteile.

Isolation (durchgängig): Abnahme in 2 Min. von 169:  $\pm 2,0$  Skalenteile.

Influenzausschlag: 25,6 Skalenteile für 5,10 Volt.

Anfang des Versuchs ( $t = 0$ ): Anlegen der Spannung von + 1530 Volt an die

obere Plattenbelegung.

Zur Zeit  $t = 1$  Sek.: Isolieren der Elektrometer-Platte-Leitung.

## Entladungsversuch.

Empfindlichkeit: 150 Skalenteil.

Isolation: wie nebenstehend.

Anfang des Versuchs ( $t = 0$ ):

Anlegen der Erdeleitung an die obere Plattenbelegung.

 $t = 1$  Sek.: Isolieren der Elektrometer-Platte-Leitung.

Temp.	Elektrometer- gang in Skalenteilen	Stand des Lichtzeigers zur Zeit	Ablenkung des Elektrometers in Skalenteilen		Temp. meters in Skt. nach Abzug des Elektrometerganges	19,4°	Ablenkung des Elektro- meters in 5 Sek.
			beob. achtet	nach Abzug des Elektro- meterganges			
18,9°	1,6 in 4 Min.	$t = 1$ Sek.: Nullpunkt 25,4	10,1	10,1 in 5 Sek.			- 9,0 in 5 Sek.
	$t = 6$ "	35,5	3,8	" 5 "			- 4,0 " 5 "
	$t = 11$ "	39,3	3,2	" 5 "			- 3,5 " 5 "
	$t = 16$ "	42,5	5,7	" 5 "			- 5,6 " 5 "
	$t = 31$ "	48,3	5,8	" 5 "			- 4,1 " 5 "
	$t = 46$ "	52,2	3,9	3,8 " 5 "			- 2,6 " 5 "
	$t = 61$ "	55,1	2,9	2,8 " 5 "			- 2,3 " 5 "
	$t = 76$ "	57,5	2,4	2,3 " 5 "			- 2,2 " 5 "
	$t = 91$ "	59,6	2,1	2,0 " 5 "			- 1,7 " 5 "
	$t = 106$ "	61,2	1,6	1,5 " 5 "			- 1,4 " 5 "
	$t = 121$ "	62,8	1,6	1,5 " 5 "			- 1,3 " 5 "
	$t = 136$ "	64,2	1,4	1,3 " 5 "			- 1,2 " 5 "
	$t = 151$ "	65,5	1,3	1,2 " 5 "			- 1,1 " 5 "
	$t = 166$ "	66,8	1,3	1,2 " 5 "			- 1,0 " 5 "
	$t = 181$ "	67,8	0,9	0,8 " 5 "			"



zusammensetzt, den man beobachtet hätte, wenn die anfängliche Ladung über dem Moment ihrer Veränderung hinaus bestehen geblieben wäre. Die anfängliche Ladung betrug im vorliegenden Falle + 1530 Volt, bei der Ableitung zur Erde trat also eine Änderung von - 1530 Volt ein; die gedachte Fortsetzung der ersten Ladung hätte auch noch einige Zeit nach der Änderung ungefähr + 0,5 Skalenteile in 4 Minuten geliefert. Demnach müßten die Werte der letzten Kolonne um diesen Betrag entsprechend kleiner sein als die der 5. Kolonne. Mit dieser Forderung stehen die Zahlen dieser Kolonne, wenn man die Temperaturverschiedenheit und die Beobachtungsfehler berücksichtigt, wenigstens in der ersten Zeit der Entladung durchaus in Einklang. Für diesen Entladungsstrom wird auch im folgenden häufig der Name „Polarisationsstrom“ gebraucht werden.

An dieser Stelle mag gleich erwähnt werden, daß während der Untersuchung häufig Gelegenheit vorhanden war, zu erfahren, wie sich die Platte verhielt, wenn mit dem Wechseln einer Ladung nicht wie in unserm obigen Falle gewartet wurde, bis die betreffenden Elektrometerausschläge sehr klein und scheinbar konstant geworden waren. Das Verhalten entsprach dann auch noch immer, von besonderen Fällen (vgl. z. B. S. 91), die noch erwähnt und aufgeklärt werden sollen, abgesehen, dem Superpositionsge setz.

Mit Rücksicht auf weiteres, das noch über das Verhalten des NaCl mitzuteilen ist, erscheint es zweckmäßig, das angewandte Verfahren und den Grad der Zuverlässigkeit der Ergebnisse etwas ausführlicher<sup>1)</sup> zu besprechen.

Das Kelvinsche Quadrantenelektrometer (Original-exemplar) hat sich bei richtiger Behandlung zur Messung von Spannungen und bei Nullmethoden bekanntermaßen als den gestellten Anforderungen vollständig genügend erwiesen. Im vorliegenden Falle wurde es aber zur Messung von Elektrizitätsmengen verwendet, die *allmählich* zugeführt wurden und von denen manchmal der zeitliche Verlauf dieser Zufuhr einigermaßen genau erkannt werden sollte. Die im Anfang dieser

---

1) Die weitläufige Mitteilung von vielen Einzelheiten war leider nicht zu umgehen, namentlich weil in einigen Ergebnissen Unsicherheiten bestehen geblieben sind, zu deren Erklärung jene Einzelheiten vielleicht beitragen können.

Arbeit gestellten Ansprüche konnten auch bei dieser Verwendung von dem Instrument größtenteils befriedigt werden. Allein im späteren Verlauf machte sich der Wunsch und das Bedürfnis nach einer weitergehenden Zuverlässigkeit der Ergebnisse geltend. Da ergab sich dann, daß sowohl das Elektrometer, wie auch das oben geschilderte Beobachtungsverfahren mit Mängeln behaftet sind, die sich in speziellen Fällen bemerkbar machen. Von diesen Mängeln sollen einige besprochen werden.

1. Es wurde, wie soeben erwähnt, die Messung der in einer gewissen Zeit von der Platte zugeführten Elektrizitätsmenge stets durch Ablesung am *bewegten* Lichtzeiger vorgenommen, und es ist sicher, daß infolge der Trägheit des Nadelsystems und der Dämpfung seiner Bewegung diese Messung mehr oder weniger gefälscht wird, wenn man, wie es geschah, die vorher am *ruhenden* Zeiger vorgenommene Kalibrierung des Elektrometers bezüglich seiner Coulombempfindlichkeit für die Auswertung der Beobachtungen zugrunde legt.<sup>1)</sup> Es fragt sich nun, ob der begangene Fehler so beträchtlich war, daß er für unsere Versuche, die weniger eine sehr genaue absolute Bestimmung der L.-F. beabsichtigen, als eine einigermaßen zuverlässige Beobachtung der Veränderung der L.-F., die die Platte durch noch zu bezeichnende Operationen erfährt, von wesentlichem Belang war. Nach dieser Richtung angestellte Prüfungen haben ergeben, daß dieses nicht der Fall war, wenn man vermied, Ablesungen zu machen an dem noch rasch bewegten Zeiger, dessen Bewegung noch sichtlich sehr ungleichförmig, d. h. von Schwingungen stark beeinflußt war.

Für gewisse Versuche, von denen noch die Rede sein wird, war es nötig die Vermutung zu prüfen, ob nicht die durch Temperaturänderungen bewirkte Änderung der Viskosität der die Nadelbewegung dämpfenden  $H_2SO_4$  des Elektrometers die Bestimmung der Spannung bzw. der Ladung beeinflussen könnte. Um diesen Einfluß zu prüfen, wurden Leitungsversuche angestellt, bei denen die Temperatur der  $H_2SO_4$  durch vorangegangene elektrische Heizung des Gesamtinhalts des großen Blechkastens, in dem das Elektrometer usw. untergebracht war — ohne daß die Temperatur der Steinsalzplatte sich auch gleichzeitig verändert hatte — erhöht war. Das Ergebnis war, daß ein wesentlicher Einfluß auf die Elektrometer-

1) Vgl. darüber z. B. Steward, Phys. Rev. 21. S. 229. 1905

ausschläge nicht zu befürchten ist. Weil ein jedesmaliges Umrühren der Schwefelsäure vor jedem der vielen Versuche nicht angängig erschien, war eine gewisse Konstanz der Schwefelsäuretemperatur allerdings erforderlich, um zu vermeiden, daß Flüssigkeitsströmungen die Nadelstellung unliebsam beeinflußten; es wurde deshalb dafür gesorgt, daß stärkere Temperaturschwankungen im Beobachtungszimmer im Verlauf einer kürzeren Zeit nicht vorkamen. Einige später noch zu erwähnende Unregelmäßigkeiten in den Versuchsergebnissen machten sich im Laufe der Zeit, als die Ansprüche an die Genauigkeit der Beobachtungen gestiegen waren, störend bemerkbar. Sie führten zu der Vermutung, daß noch ein zweiter Einfluß ähnlicher Art wirksam sein könnte. Es schien nämlich nicht ausgeschlossen zu sein, daß sich in der Oberfläche der  $H_2SO_4$  im Laufe einiger Zeit eine zähre Haut ausbilden könnte, die an dem wenn auch sehr dünnen Draht haftend, dessen bei Nadelablenkungen eintretende Drehungen um seine Achse in mit der Zeit veränderlicher Weise hemmen würde. Um diese mögliche Fehlerquelle von vornherein auszuschließen, hätte man vor jedem der vielen Versuche das Elektrometer auseinander nehmen und die Schwefelsäure gut umrühren müssen, was aber, wie schon erwähnt, nicht angängig war. Um aber diese Fehlerquelle kennen zu lernen, fand sich eine Gelegenheit, als das Elektrometer einmal über  $2\frac{1}{2}$  Monate lang unberührt gestanden hatte. Es wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen mit diesem lange nicht gebrauchten Elektrometer, in dem sich somit eine solche Haut ausgebildet haben konnte, je ein Ladungs- und Entladungsversuch angestellt. Beide lieferten untereinander übereinstimmende Ergebnisse. Dann wurden wieder zwei solche Versuche gemacht, aber erst nachdem die Schwefelsäure umgerührt und infolgedessen von ihrer vermuteten Haut befreit war. Sie ergaben in der Tat etwas (ein paar Prozente) größere Werte sowohl bei der Ladung, als bei der Entladung. Daraus geht hervor, daß zwar obige Vermutung richtig war, aber gleichzeitig, daß die Ergebnisse von bald, d. h. nach einigen Stunden oder auch Tagen aufeinanderfolgenden Versuchen, und darum handelte es sich fast immer, von dieser Fehlerquelle nicht wesentlich beeinflußt werden konnten.

Ein Einfluß von in der  $H_2SO_4$  eventuell suspendierten Teilchen auf die Nadelbewegung konnte nicht festgestellt

werden. Eine geringe elastische Nachwirkung der bifilaren Nadelauflängung machte sich nur bei und nach etwas länger dauernden größeren Ablenkungen bemerkbar, verschwand dann aber immer nach einem kurzen Abwarten. Das Elektrometer hat während der langen Untersuchung niemals zu der Befürchtung Veranlassung gegeben, es könnte vielleicht sehr kleine Elektrizitätsmengen, wie sie öfter vorkamen, nicht genügend genau messen. Der Nullpunkt stellte sich, wenn die nötigen Vorsichtsmaßregeln getroffen waren, nach jeder Ablenkung immer wieder tadellos ein. Das Instrument reagierte ohne Fehler auf die kleinsten, wenigen Zehntel Skalenteilen entsprechenden, sowohl rasch wie langsam zugeführten Elektrizitätsmengen. Etwas größere, mit dem Piezoquarz erzeugte und einander gleiche Elektrizitätsmengen lieferten bei gleicher Elektrometerempfindlichkeit exakt gleiche Ausschläge. Kurz, dem Elektrometer kann ich in *dieser* Beziehung nicht die Schuld beimessen von Unstimmigkeiten und von einer eigen-tümlichen unerklärt gebliebenen Erscheinung, die im weiteren Verlauf der Untersuchung beobachtet wurden, und von denen noch ausführlich die Rede sein wird. Trotz alledem empfand ich, je länger die Untersuchung dauerte, immer mehr das Bedürfnis nach einer anderen Methode und nach anderen Instrumenten, um kleine Elektrizitätsmengen zu messen; ich fand aber bis jetzt keine Gelegenheit, dem abzuhelfen.

Ich legte mir natürlich die Frage vor, ob es doch nicht besser wäre, die Messung immer, d. h. nicht nur zu Anfang, sondern auch nach Beendigung der Elektrizitätszufuhr an der *ruhenden* Elektrometernadel zu machen, wozu nach Ablauf der für die Zufuhr gewählten Zeit die Verbindung der von der Erde isoliert bleibenden Elektrometerleitung mit der Platte durch Umlegen der Wippe  $W_3$  hätte aufgehoben werden müssen. Ich habe auch probeweise dieses Verfahren einige Male angewendet, habe aber keine wesentlichen Vorzüge davon erkennen können. Ein solcher wäre erst eingetreten, wenn es sich um eine sehr genaue Bestimmung des absoluten Wertes der L-F gehandelt hätte. Ein wesentlicher Nachteil aber dieses Verfahrens wäre die Schwierigkeit gewesen, sich von dem zeitlichen Verlauf der Elektrizitätszufuhr ein Bild zu verschaffen, was in manchen Fällen erwünscht war.

2. Die Sicherheit der Messung der mitunter sehr kleinen Mengen, z. B. der nach länger dauernder Ladung oder nach längerer Entladung auftretenden Elektrizitätsmengen, wie sie z. B. in der obigen Tabelle verzeichnet sind, wird nicht unbeträchtlich gefährdet durch selbständige Aufladungen des isolierten Elektrometers mit seinen Leitungen, bzw. der unteren Plattenbelegung mit ihrer Leitung. Isoliert man nämlich durch Umlegen der Wippe  $W_2$  das zur Messung verwendete Quadrantenpaar mit seiner Leitung bis zu den drei Wippen, die die Verbindung mit den zu den Kästchen führenden Leitungen vermitteln können, so bemerkt man, wie bereits kurz erwähnt, daß sich dasselbe mit seiner Leitung langsam stetig und immer positiv aufladet. Diese Aufladung ist in der Tabelle unter „Elektrometergang“ verzeichnet. Wiederholt man diesen Versuch nach Hinzuschaltung der unteren Belegung der Platte, deren obere Belegung zur Erde abgeleitet bleibt, so tritt wieder ein ähnlicher Ausschlag im Laufe der Zeit ein, der aber kleiner als der vorher erwähnte, in einzelnen Fällen sogar schwach negativ ist (diese Beobachtungen sind in den späteren Tabellen unter „ $V = 0$ “ verzeichnet); demnach muß in diesem zugeschalteten Teile immer oder jedenfalls mit äußerst wenigen Ausnahmen negative Elektrizität entstehen. Sie röhrt nicht etwa von einer „Polarisation“ der Platte her, denn sie entstand unter normalen Verhältnissen in allen Fällen, sei es, daß die Platte bei vorhergehenden Versuchen positiv oder daß sie negativ geladen war und sogar auch dann, wenn bloß die Platte und nicht auch ihre Leitung bis zur Wippe  $W_2$  von der Elektrometerleitung abgetrennt war. Die Quelle dieser negativen Elektrizität ist wohl in Kontaktpotentialen oder in Voltaeffekten zu suchen, die sich trotz der ausnahmslosen Verwendung von hartem Paraffin als Isolator nicht beseitigen ließen. An der erwähnten positiven Aufladung beteiligt sich hauptsächlich das Elektrometer selbst, wie sich aus seinem Verhalten nach Abtrennung des Quadrantenpaares von der äußeren Leitung erkennen ließ. Die Ursache dieser Aufladung liegt nach den gemachten Erfahrungen in der durch ionisierte Luft vermittelten Aufnahme von positiver Elektrizität aus der Nadelladung; sie war z. B. besonders stark in einigen Fällen, wo die Möglichkeit vorlag, daß von entfernten Zimmern etwas Radiumemanation

in den Beobachtungsraum gelangt war; ihre Größe konnte in solchen Fällen den Betrag der zu messenden Elektrizitätszufuhr sogar übersteigen<sup>1)</sup> (vgl. den Versuch der Tabelle). Es fragt sich nun, wie diese Ladungen bei der Auswertung der L.-F.-Messung zu berücksichtigen sind. Wenn es angängig war den einen davon, mit  $V = 0$  bezeichneten Wert, zu beobachten, so wurde dieser in einer der Beobachtungszeit entsprechenden Größe dem gemessenen Ausschlag hinzugefügt, was als einwandsfrei gelten dürfte. Nun ist es aber nicht immer möglich, diesen Vorversuch zu machen, wie z. B. bei dem beschriebenen Versuch, als die Platte verschiedene Tage lang geladen blieb und deshalb keine Gelegenheit vorhanden war, vor jedem Ladungsversuch das  $V = 0$  zu messen. Wie ist nun in solchen Fällen zu verfahren?<sup>2)</sup> Man hat dann nur die Wahl, entweder keine Aufladung oder aushilfsweise den „Elektrometergang“ zu berücksichtigen. Die Erfahrung von vielen Versuchen, bei denen sowohl der Elektrometergang als das  $V = 0$  gemessen wurde, hat gezeigt, daß es in den Fällen, wo die Messung des letzteren ausfallen muß, besser ist, den Elektrometergang in der angegebenen Weise zu benutzen, als auf die selbständige Aufladung überhaupt keine Rücksicht zu nehmen. Auch erkennt man schon aus den Ergebnissen der vier letzten Ladungsversuche und der zwei letzten Entladungsversuche der Tabelle, daß es angezeigt war, so zu verfahren. Ähnliche Beispiele werden wir noch im weiteren Verlauf dieser Mitteilung finden.

Es lag natürlich der Gedanke nahe, in den Fällen, wo sehr kleine Stromstärken zu messen waren und dazu eine längere Zeit, etwa von einer Stunde oder mehr, zur Verfügung

1) Bei späteren Versuchen, vgl. z. B. S. 38 und 137, war der Elektrometergang wesentlich kleiner als bei dieser ersten Versuchsreihe. Wenn es während der Untersuchung nötig gewesen war, das Elektrometer zur Erneuerung der Schwefelsäure auseinander zu nehmen, so mußte es nachher ein paar Tage lang sich selbst überlassen bleiben, sonst traten leicht neue störende Selbstaufladungen ein.

2) Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die in Rede stehende Unsicherheit bei einigermaßen größeren Stromstärken, und solche kommen bei dem größeren Teil der Arbeit — Untersuchung des X-bestrahlten und des natürlich gefärbten NaCl — fast immer nur in Frage, eine sehr geringe Rolle spielt, die gegen die von noch nicht zu beseitigenden Unsicherheiten zurücktritt.

stand, wie z. B. gegen Ende des oben mitgeteilten Versuchs, sich von dieser soeben besprochenen Unsicherheit in der Weise frei zu machen, daß man die von der Platte in einer gewissen Zeit zugeführte Elektrizitätsmenge sich zuerst auf der Platte oder eventuell auf einem Kondensator ansammeln ließ, um sie dann am Schluß dieser Zeit mit dem Elektrometer zu messen, wobei auch die vorhin beanstandete Ablesung am bewegten Lichtzeiger wegfallen könnte. Allein es hat sich bei angestellten Probeversuchen ergeben, daß dann, wenigstens mit der vorhandenen Apparatur, andere Fehlerquellen auftreten, die das Resultat wieder unsicher machen. Ich zog es deshalb vor, so zu verfahren, wie oben angegeben ist und mich durch häufige Wiederholung der Versuche unter ähnlichen Verhältnissen von Spannung, Temperatur usw. — was auch noch aus anderen Gründen angezeigt war — von dem Einfluß der genannten Fehlerquelle frei zu machen. Es dürfte mir deshalb auch gelungen sein wenigstens so weit zu kommen, daß ich die Richtigkeit der in solchen Fällen gezogenen Schlüsse verbürgen kann, und ich würde erst dann nochmals auf die Suche nach einer besseren Methode gehen, wenn bei einer eventuellen Fortsetzung der Untersuchung andere Unsicherheiten, von denen noch die Rede sein wird, vorher beseitigt worden sind.

3. Die Sicherheit der in der allerersten Versuchsperiode, wo die Elektrizitätszufuhr am stärksten ist — in der Zeit von 1—6 Sekunden nach Anlegen der Spannung —, erhaltenen Werte ist infolge der Unsicherheit in dem Innehalten von einer Sekunde, die zwischen dem Anlegen der Spannung und dem Isolieren der Elektrometerleitung vergehen soll, etwas mehr gefährdet als die der unmittelbar folgenden Werte. Auch ist die Bewegung der Nadel so kurze Zeit nach dem Anfang ihrer Bewegung manchmal noch nicht so gleichförmig fortschreitend als später.

4. Wenn es auch von vornherein nicht sehr wahrscheinlich erschien, daß das am Anfang eines Ladungsversuches vorgenommene plötzliche Anlegen der Plattenkapazität an die Hochspannungsleitung den Betrag der Spannung vorübergehend merklich vermindern könnte und dadurch der folgende Elektrometerausschlag infolge von durch Erholung der Spannung erzeugter Influenzelektrizität gefälscht worden wäre, so schien

es mir doch nicht überflüssig, durch einen Versuch nachzuweisen, daß diese Fehlerquelle wirklich nicht zu befürchten war. Dazu wurde noch eine zweite Steinsalzplatte in das andere Zinkkästchen aufgestellt und für eine Zeitlang dauernd und zwar durch *direkte* Verbindung mit der Akkumulatoren-batterie auf etwa 1500 Volt geladen. Als die in ihr erzeugte Stromstärke sehr klein geworden war, blieb die untere mit dem Elektrometer verbundene Leitung ungeerdet, so daß eine eventuell folgende langsame Änderung der Hochspannung sich durch Influenz an dem Lichtzeiger bemerkbar machen mußte. Dann wurde in der üblichen Weise die erste Platte durch Umlegen der Wippe  $W_8$  auch mit der Hochspannung verbunden, während ihre untere Belegung geerdet war, und weiter auch geerdet blieb. Es zeigte sich bei dieser Operation gar kein merklicher Einfluß auf die äußerst langsame Bewegung des Lichtzeigers, wodurch der gewünschte Nachweis als erbracht gelten darf.

5. Auf S. 467 des ersten Teiles der Arbeit ist erwähnt, daß die Kapazität des Quadrantenpaars nach Ablenkung der Nadel scheinbar größer ist als bei der in der Nullstellung ruhenden Nadel und daß die diese Veränderung berücksichtigende Größe  $a$  von der Nadelspannung abhängig ist. Benutzt man somit, wie es hier geschah, die Nadelablenkung zur Vergleichung von bei verschiedenen Versuchen zugeführten Elektrizitätsmengen untereinander, so ist dafür Sorge zu tragen, daß in allen diesen Fällen die Nadelspannung möglichst die gleiche ist. Eine vollständige Gleichheit läßt sich aber nicht leicht erreichen, weil man nicht kurz vor jedem Versuch die Spannung der Nadel, die in der Zwischenzeit zwischen zwei Versuchen, die nicht unmittelbar aufeinander folgen, mehr oder weniger je nach der Isolation der Leidner-Flasche des Elektrometers abgenommen hat, ändern darf, wenn die notwendige Unveränderlichkeit der Nullage der Nadel gewährleistet werden soll; dadurch kämen somit unter Umständen kleine Unsicherheiten in der Bestimmung der L.-F. hinein. In den wenigen Fällen, wo eine größere Verschiedenheit der Nadelspannung nicht zu vermeiden, und wo doch auch eine möglichst genaue Bestimmung der L.-F. erwünscht war, habe ich deshalb an den abgelesenen Ausschlägen eine Korrektion angebracht, deren Betrag aus besonderen Versuchen

abgeleitet war. Diese Versuche lieferten folgendes Resultat: Wenn die Empfindlichkeit von 154 Skalenteilen auf 122 Skalenteile verringert worden war, so hatte sich ein durch eine gleichbleibende Elektrizitätsmenge erzeugter Ausschlag von 13,0 Skalenteilen um ungefähr 1,0 Skalenteile vermindert, d. h. ein bei der Empfindlichkeit 122 gemessener Ausschlag von dem genannten Betrag wäre um 1,0 Skalenteile zu vergrößern, um den als unbekannt angenommenen Ausschlag bei der Empfindlichkeit 154 Skalenteile zu erhalten. (Vgl. S. 48).

6. An die Konstanz der Bornhäuserschen Akkumulatorenbatterie, die zur Ladung der Platte diente, wurden während eines Ladungsversuches große Ansprüche gemacht, insbesondere, wenn sehr kleine Stromstärken gemessen werden sollten. Sie hat diese aber vollständig erfüllt, wenn folgende Maßregeln getroffen waren. Erstens müssen alle in ihr vorkommenden Kontakte mittels Klemmen bzw. Lötstellen und nicht, wie es anfänglich der Fall war, durch kleine Hg-Näpfe hergestellt sein. Zweitens darf die Batterie nicht zu kurze Zeit nach ihrer Ladung und auch nicht nach längerem Gebrauch verwendet werden, da in beiden Fällen die Spannung verhältnismäßig rasch abnimmt, was leicht Influenzerscheinungen an der Platte zur Folge haben könnte, die die Ergebnisse eines Versuches völlig entstellen würden (vgl. das folgende Beispiel für den Fall einer Temperaturänderung der Akkumulatoren). Aus dem gleichen Grunde ist zu vermeiden, daß die Schaltung der Batterie, etwa von nebeneinander auf hintereinander, kurz vor einem Bestimmungsversuch geändert wird; am sichersten ist es, an der Schaltung überhaupt nichts zu ändern und die Batterie von einer Aufladung zur anderen dauernd auf Hintereinanderschaltung stehen zu lassen, ihre Ladung nimmt dann wohl etwas rascher, aber jedenfalls viel regelmäßiger ab, als wenn mit der Schaltung gewechselt wurde. Drittens muß dafür gesorgt werden, daß die Temperatur der Batterie während eines Versuchs sich nicht oder nur sehr wenig ändert, weshalb sie bei den späteren genaueren Versuchen nicht im Beobachtungszimmer, wo die Temperatur absichtlich einige Male geändert werden mußte, sondern in einem Nebenraum mit möglichst konstanter Temperatur aufgestellt wurde. Der Einfluß einer Temperaturänderung ist unter Umständen in der Tat sehr beträchtlich, wie aus folgender Überlegung hervor-

geht. Die Akkumulatorenspannung nimmt nach einer Angabe, die ich im Kohlrausch'schen Lehrbuch der praktischen Physik, S. 414 fand, um etwa 4 Promille bei einer Temperatursteigerung um  $1^{\circ}$  zu. Die Vermehrung der an der Platte angelegten Spannung von etwa 1600 Volt würde demnach nach Zunahme der Akkumulatortemperatur um einen Grad 6,4 Volt betragen, und auf der mit dem Elektrometer verbundenen Belegung eine Menge Influenzelektrizität erzeugen, die sich an dem Elektrometer durch einen Ausschlag von etwa 33 Skalenteilen bemerkbar machen würde. Wenn also eine L.-F.-Bestimmung, wie es häufiger der Fall war, 3 oder 4 Minuten beanspruchte und wenn ein Fehler von 0,3 Skalenteilen vermieden werden sollte, so durfte sich die mittlere Akkumulatortemperatur in dieser Zeit nicht um  $0,01^{\circ}$  geändert haben.

7. Eine Temperaturänderung der Platte während eines Ladungsversuchs könnte sich durch das damit verbundene Auftreten von Influenzelektrizität nur bei größeren Änderungen bemerkbar machen.  $1^{\circ}$  Temperaturzunahme während eines Versuchs würde bei etwa 1600 Volt Ladung erzeugen:

- a) infolge der Dickenänderung der Platte einen Ausschlag von — 0,8 Skalenteilen,
- b) infolge der Flächenänderung der Platte einen Ausschlag von + 0,6 Skalenteilen,
- c) infolge der Änderung der Dielektrizitätskonstante einen Ausschlag von — 0,5 Skalenteilen.

Eine so große Temperaturänderung kam aber bei den L.-F.-Bestimmungen mit einer verdunkelten Platte nicht vor.

Dagegen zeigte sich bei plötzlich eintretender intensiver Beleuchtung, bzw. Verdunkelung der geladenen Platte — wie sie öfter vorgenommen wurde —, wenn die Platte infolge längerer positiver bzw. negativer Ladung nur noch wenig Elektrizität zum Elektrometer führte, sehr deutlich ein kleiner, rasch eintretender positiver bzw. negativer Ausschlag, der der thermischen Ausdehnung, bzw. Abkühlung speziell der unteren Plattenbelegung, die aus Graphit bestehend die Strahlung gut absorbierte, zugeschrieben werden muß. Ausführlicheres hierüber vgl. S. 79.

8. Die Temperatur der Platte übt auf ihre L.-F. einen recht merklichen Einfluß aus, namentlich auf die nach längerer

Ladungsdauer vorhandene; aus der Tabelle ist dieser Einfluß in zwei Fällen (Bestimmung der L.-F. nach 168 Stunden, bzw. 216 Stunden) sehr deutlich zu erkennen. Diese Versuche wären aber zu ungenau, um daraus einen Wert für den Temperaturkoeffizienten ableiten zu können; dazu dienen später mitzuteilende Bestimmungen.

9. Die Isolation des in Betracht kommenden Leitersystems war, wenn keine beleuchtete, X-bestrahlte Platte untersucht wurde, sehr gut; von allen Teilen isolierte das Elektrometer am wenigsten. Unter normalen Verhältnissen nahm ein Elektrometerausschlag von 150 Skalenteilen in 2 Minuten um etwa 3 Skalenteile infolge mangelhafter Isolation ab; die dadurch bedingte Korrektion der Leitungsvorschussergebnisse ist häufig verschwindend klein und erreicht in manchen Fällen, z. B. bei dem oben in der Tabelle wiedergegebenen Versuch, etwa die Grenze der Ablesungsgenauigkeit, so daß ich von der Anwendung dieser Korrektion meist abgesehen habe. Wenn die Platte durch Bestrahlung und Beleuchtung recht leistungsfähig geworden ist, so ist natürlich die Isolation des Isolierstreifens wesentlich schlechter; aber auch dann braucht dieser Fehler nur sehr selten berücksichtigt zu werden, weil eben die zu korrigierende Größe selbst auch beträchtlich größer geworden ist. Deshalb geschah die Bestimmung der Isolation zwar immer, aber mehr zu ihrer Kontrolle.

10. Da der Isolierring der Plattenbelegung nicht absolut isoliert, wird der Verlauf der Kraftlinien des durch Anlegen der Spannung erzeugten elektrischen Feldes in der Platte sich mit der Zeit etwas ändern; über den Einfluß dieser Veränderung auf die beobachteten Werte der L.-F. liegen keine direkten Beobachtungen vor.

Etwaige Verlegungen des Nullpunktes der Elektrometer-nadel während einer Bestimmung der L.-F. infolge von Temperaturänderungen oder von kleinen Erschütterungen usw. des Elektrometers, der Skala oder der Lampe wurden nicht wahrgenommen, vorausgesetzt, daß die Lampe einige Minuten vor Anfang des Versuches angezündet worden war, was, wie schon erwähnt, immer geschehen ist.

Mit der Messung von Elektrometerausschlägen von etwa 0,4—0,6 Skalenteilen in 4 Minuten sind wir an der Grenze

der Leistungsfähigkeit der Methode angelangt; diese Werte können von den verschiedenen vorhandenen Fehlerquellen sogar leicht in nicht unerheblichem Maße beeinflußt werden. Für sicher halte ich dagegen, daß diese sehr kleinen Elektrizitätsmengen wirklich durch das NaCl und nicht etwa, was nahe läge zu vermuten, durch ionisierte Luft der Elektrometerleitung zugeführt wurden. Dieser Weg durch die Luft war nämlich durch Metallgase versperrt, die die einzige zwischen angelegter Spannung und Elektrometerleitung vorhandene Öffnung verdeckte. Diese in dem die Plattenfassung tragenden Rohrstutzen angebrachte Öffnung ist für das Austrocknen der unteren Plattenbelegung nötig.

An anderer Stelle dieser Veröffentlichung wird ein paarmal Gelegenheit gegeben werden, um sich über die Frage ein Urteil zu bilden, inwieweit die Versuchsanordnung und auch das untersuchte Material der Anforderung genügt haben, daß zwei zu verschiedenen Zeiten unter gleichen Umständen, was Ladung und Temperatur anbetrifft, mit der gleichen Platte ausgeführte Versuche untereinander übereinstimmende Ergebnisse liefern; hier mag es genügen, wenn ich zur Orientierung auf folgendes hinweise. Nach dem erwähnten Superpositionsge setz soll nach lang fortgesetzter Ladung, nachdem die L. F. sehr klein geworden ist, der gleich nachfolgende Entladungsversuch bei gleicher Temperatur für die ersten Zeiten den gleichen zeitlichen Verlauf zeigen wie der Ladungsversuch. Vergleicht man in der Tab. I die beim Ladungsversuch erhaltenen Werte mit den daneben stehenden der Entladung, so findet man, daß diese letzteren 11 Tage nach der Ladung erhaltenen Werte im allgemeinen sehr gut mit jenen übereinstimmen. Die vorkommenden kleinen Differenzen entsprechen unvermeidlichen Ablesungsfehlern. Diese Wahrnehmung bestärkte mich in der Ansicht, daß die Versuchsanordnung bei vorsichtiger Anwendung sehr wohl imstande war, über einige Fragen, die sich auf das elektrische Verhalten des NaCl beziehen, mit der nötigen Sicherheit Aufschluß zu geben. Inwieweit sich diese Ansicht im Verlauf der Untersuchung als zutreffend erwiesen hat, wird aus dem weiter Folgenden hervorgehen.

---

Ich berichte nun über weitere mit der „alten“ Platte im Laufe einer längeren Zeit angestellte Versuche zur Bestimmung der L.-F. Zunächst sei erwähnt, daß zu jener Zeit der bedeutende Einfluß, den die Temperatur auf die L.-F. des NaCl ausübt, noch nicht sicher festgestellt war, und daß deshalb auf die möglichst genaue Bestimmung der Temperatur bei diesen Versuchen noch kein so großes Gewicht gelegt wurde, wie es später der Fall war. Auch wurde auf eine genauere Bestimmung der Ladespannung weniger acht gegeben. Deshalb darf ich kleinen Verschiedenheiten, die sich von Versuch zu Versuch ergaben, keine Bedeutung beilegen, und nur solche Veränderungen, deren Betrag so groß ist, daß sie von Temperatur und Spannungsunsicherheit keinesfalls herrühren können, in Betracht ziehen. Alle erhaltenen Werte wurden mit Hilfe eines später bestimmten Temperaturkoeffizienten auf die gleiche Temperatur von  $18,0^{\circ}$  und außerdem unter Anwendung der Gesetzmäßigkeit, daß die Stromstärken den angelegten Spannungen proportional sind, auf die gleiche Spannung von 1590 Volt reduziert. Da auch die Dicke der Platte durch Abschleifen einmal eine merkliche Änderung erfuhr und ein paarmal die Größe der Graphitelektrode absichtlich verkleinert wurde, reduzierte ich die nach diesen Operationen erhaltenen Werte auf die ursprüngliche Dicke und auf den Durchmesser der anfänglich angebrachten Graphitelektrode. Die so erhaltenen, nun für einen Vergleich untereinander besser verwendbaren Stromstärken wurden dann in einer Tabelle zusammengestellt, auf deren ausführliche Wiedergabe ich verzichten möchte, sowohl aus Sparsamkeitsrücksichten, als auch weil man sich aus einer auf S. 46 bis 49 abgedruckten Darstellung der Ergebnisse einer zu ähnlichen Zwecken angestellten Versuchsreihe in bezug auf die immer vorgekommenen Unregelmäßigkeiten und Störungen leicht ein Bild verschaffen kann.

Überblicke ich nun diese hier nicht wiedergegebene Tabelle, so finde ich als auffallendste Erscheinung, daß sowohl die in der Ladungsperiode von 1—16 Sekunden als auch namentlich die in der folgenden Periode von 16—121 Sekunden erhaltenen Elektrometerausschläge folgende bemerkenswerte Veränderungen erfuhren. Dem oben ausführlich beschriebenen, viele Tage dauernden Ladungs- und Entladungsversuch waren

zwei in gleicher Weise an je einem Tage angestellte, aber, was Ladungsdauer anbetrifft, wesentlich kürzere Versuche vorangegangen.<sup>1)</sup> Ihm folgte ein vierter Versuch. Während den etwa drei Wochen, die diese unter annähernd gleichen Bedingungen von Spannung und Temperatur angestellten vier Versuche in Anspruch nahmen, verblieb die Platte, wenn nicht zum Versuch geladen, geerdet in ihrem Kästchen im Dunkeln. Die in der Versuchsperiode von 16—121 Sekunden gelieferten, auf 18° und 1530 Volt reduzierten Elektrometerausschläge betrugen bzw. 18,7, 17,9, 17,4, und 16,0 Skalenteile. Es zeigte sich somit eine von Versuch zu Versuch eingetretene Abnahme der Stromstärke. Diese Erscheinung einer „langzeitigen Abnahme“ der L.-F. wurde in der Folge mehrmals beobachtet; es wird von ihr noch ausführlicher die Rede sein. Auf diese vier Versuche mit der unbestrahlten Platte folgten bald einige kurz dauernde X-Bestrahlungen und Ladungs- und Entladungsversuche, die auf S. 82 besprochen werden sollen. Etwa  $2\frac{3}{4}$  Jahre später als ich glaubte annehmen zu können, daß die Platte die durch die X-Bestrahlung erzeugte Veränderung verloren hatte, sollte versucht werden, einen Grund für die erwähnte langzeitige Abnahme zu finden. Es wurde die Platte auf beiden Seiten abgeschliffen, so daß ihre Dicke von 0,215 auf 0,188 cm abnahm. Das Glyzerintröpfchen wurde wieder aufgekittet und eine neue Graphitelektrode von gleicher Größe wie die vorherige angebracht. Ein bald folgender Ladungs- und Entladungsversuch ergab eine auffallend größere Stromstärke (23,2 Skalenteile) als vor der langen Pause; ein zweiter am zweitfolgenden Tage angestellter Versuch ergab einen etwas kleineren und nach zwanzig Tagen ein dritter einen noch kleineren Wert (21,9 Skalenteile), aber immerhin bedeutend größer als vor dem Abschleifen beobachtet war. Da die Platte in der langen Zwischenzeit — unbeabsichtigt — frei, also nicht im Exsikkator aufbewahrt worden war, glaubte ich zuerst, einer Curieschen Anschauung

1) Für gewöhnlich dauerte bei allen Versuchen der Arbeit die Ladung nur etwa 5—6 Minuten; bis zum nächsten Ladungsversuch, der fast immer um die von der vorhergegangenen Ladung erzeugte Polarisation möglichst verschwinden zu lassen, frühestens erst am folgenden Tag gemacht wurde, blieb die Platte geerdet und im Dunkeln. Über den Einfluß einer kürzeren Dauer der Erdung wird bei einer anderen Gelegenheit berichtet.

entsprechend, daß die Vergrößerung der Stromstärke von einer in der Zwischenzeit in das NaCl eingedrungenen Feuchtigkeit herrühre. Bald fand ich aber die richtige Lösung. Das neu aufgesetzte Glyzerintrögchen war ausnahmsweise nicht mit der sonst angewendeten Sorgfalt aufgekittet worden, so daß ein freilich nur kleiner Kittwulst an dem inneren Glasrand stehen geblieben war, und der Kitt sich infolgedessen etwa 2 mm weit über das NaCl ausgebreitet hatte. Deshalb verließen einige Kraftlinien, die zu der Graphitelektrode gelangten, auch durch diese dünne Kittschicht, und diese bewirkte die bekannte beträchtliche „Rückstanderscheinung“ in der Form einer für die ersten Zeiten der Ladung bzw. Entladung vergrößerten Stromstärke. Nachdem der Kitt sauber entfernt worden war, stellte sich sofort und auch am nächsten Tage wieder ein Wert der Stromstärke (15 Skalenteile) ein von nahezu derselben Größe, wie der zuletzt vor etwa  $2\frac{3}{4}$  Jahren gefundene (16,0 Skalenteile). Durch dieses Ergebnis war der Verdacht rege geworden, daß vielleicht auch dieser letztere Wert, sowie die drei vorher gefundenen durch die Anwesenheit einer äußerst dünnen, nicht sichtbaren, an der Oberfläche des NaCl etwa beim Abschleifen entstandenen fremden Oberflächenschicht, die nach den Versuchen von Arons den „Rückstand“ merklich beeinflussen kann, gefälscht sein könnten, und es wurde deshalb die Platte vor einigen gleich folgenden Ladungsversuchen jedesmal ein wenig abgeschliffen, mit aller Vorsicht gereinigt, neu graphitisiert und mit frischer Glyzerinelektrode versehen. Eine Wirkung dieser Operation auf die Stromstärke konnte aber bei den in den folgenden 10 Tagen nach jedem Abschleifen usw. angestellten Versuchen nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Dagegen zeigte sich, daß in dieser Zeit unabhängig von dem Abschleifungsprozeß die Stromstärke wiederum, wenn auch mit kleinen Sprüngen, weiter abgenommen hatte. Am Schluß betrug sie etwa 12 bis 13 Skalenteile (immer in der Versuchszeit von 16 bis 121 Sekunden).

Es schien mir nun nützlich, zu versuchen, ob das Verhältnis der Größe der Glyzerinelektrode zu der der Graphitelektrode bei den bisherigen Versuchen ausreichend war, um in der Platte ein genügend homogenes, konstant bleibendes elektrisches Feld zu erhalten, und gleichzeitig zu prüfen, ob die Platte in ihrer Breitenausdehnung an allen Stellen die

gleiche L.-F. besaß, d. h. in erwünschter Weise homogen war. Deshalb wurde bei den nun folgenden wieder an je einem Tage angestellten Versuchen eine kleinere Graphitelektrode (Durchmesser 1,98 cm) und später eine noch kleinere (Durchmesser 1,41 cm) verwendet; die Glyzerinelektrode blieb unverändert erhalten. Dadurch erlitt der ursprüngliche Stromquerschnitt zuerst eine Verkleinerung im Verhältnis von 1,22 zu 1,00 und darauf von 2,88 zu 1,00. Die bei diesen im Verlauf von einem Monat angestellten Versuchen erhaltenen Stromstärken lassen nun nach Reduktion der Werte auf den ursprünglichen Stromquerschnitt folgendes erkennen. Alle Werte, sowohl die nach der ersten, wie die nach der zweiten Verkleinerung der Graphitelektrode erhaltenen, sind, von einigen Unregelmäßigkeiten abgesehen, untereinander ziemlich übereinstimmend, aber deutlich größer (im Mittel betrug die Stromstärke etwa 18,8 Skalenteile) als der vor der Verkleinerung erhaltene (12—18 Skalenteile), dagegen dem allerersten (18,7 Skalenteile) gleich. Aus der Übereinstimmung der Werte untereinander möchte ich schließen, erstens, daß zwischen dem durch Verkleinerung ausgeschalteten Gebiet des Stromquerschnitts und dem noch erhaltenen keine größeren von Inhomogenität herrührenden Verschiedenheiten in der Platte vorhanden waren, und zweitens, da die zweite bedeutendste Verkleinerung der Elektrode keine wahrnehmbare Veränderung in den Werten hervorbrachte, daß jedenfalls zuletzt das Verhältnis zwischen der Größe der oberen Glyzerinelektrode und der unteren Graphitelektrode groß genug war, um ein für das vorliegende Bedürfnis genügend homogenes, unveränderliches elektrisches Feld zu gewährleisten (vgl. die Größenverhältnisse beider Elektroden bei den später verwendeten Ag-belegten Platten, S. 87). Für die eingetretene Vergrößerung der Werte nach der vorgenommenen Elektrodenverkleinerung lassen sich folgende Gründe angeben: Erstens vielleicht vorhandene *kleinere* Inhomogenitäten, zweitens die durch Abschleifen verringerte Dicke der Platte; diese Ursachen reichen aber m. E. nicht aus, um die ganze Vergrößerung zu erklären, dagegen wohl ein dritter Umstand: die Nichtberücksichtigung des Einflusses der Breite des Isolierringes bei der Reduktion der Stromquerschnitte, sowie die Unsicherheit in der Bestimmung der Größe der auf rauher Fläche angebrachten Graphitelektrode.

Die oben erwähnte langzeitige Abnahme der Stromstärke, die sich bei Versuchen zeigte, die innerhalb einer längeren Zeit (von manchen Tagen) dann und wann mit der ununterbrochenen in ihrem verdunkelten Kästchen verbliebenen Platte angestellt wurden, erstreckte sich, wie gesagt, sowohl auf die ersten 15 Sekunden als auf die folgende Zeitperiode der Versuche und ebenso auf die Entladungsversuche. Der Vermutung nachgehend, daß diese Abnahme vielleicht von einer allmäßlichen Veränderung in der Beschaffenheit der Graphitelektrode oder von einem Schlechterwerden des Kontaktes an der Platte herrührte, erneuerte ich ein paarmal die Graphitbelegung — nicht aber die Glyzerinbelegung — und reinigte die Kontakte. Diese Prozesse hatten aber keinen ersichtlichen Erfolg, und da eine andere Ursache für die Abnahme nicht gefunden werden konnte, so mußte dieselbe bis auf weiteres unerklärt bleiben.<sup>1)</sup> Ebenso unerklärt blieben Unregelmäßigkeiten, plötzliche kleine Sprünge in den Werten der Stromstärken von einem Versuch zum anderen. Während eines Versuchs traten solche Störungen niemals auf, wie z. B. aus der Tab. I ersichtlich ist.

Das Urteil, das man sich aus dem Mitgeteilten über die Zuverlässigkeit des benutzten Verfahrens bilden kann, wird verschieden ausfallen, je nach dem Gesichtspunkt, von dem man dabei ausgeht. Vergleicht man die Versuchsergebnisse mit denen, die bei der Bestimmung der L.-F. von wässriger Lösung von Salzen und Säuren zu erhalten sind, so wird man bezüglich der Genauigkeit jener wenig zufrieden sein. Vergleicht man andererseits die mitgeteilten Ergebnisse mit denen, die bisher auf demselben Gebiete, d. h. bei der Untersuchung der L.-F. des NaCl und ähnlicher schlecht leitender Körper gewonnen wurden, so wird man wohl doch zugeben können, daß die angewandte Versuchsanordnung imstande gewesen ist, wesentlich zuverlässigere Resultate zu liefern als die früheren und um außerdem die weiteren Ergebnisse der Arbeit, von denen in den folgenden Abschnitten die Rede sein wird, als sicher gestellt erscheinen zu lassen.

Ich verzichte hier auf die Wiedergabe von einigen anderen Ergebnissen, die bei dieser langen Untersuchung erhalten

---

1) Vgl. eine spätere Untersuchung über diesen Gegenstand S. 36 u. ff.

wurden, da sich noch eine andere Gelegenheit bieten wird, sie zu besprechen.

Eine zu beantwortende Frage war, wie verhalten sich die nach einer bestimmten Ladungszeit pro Zeiteinheit erhaltenen Elektrometerrausschläge zu den angelegten Spannungen? Die folgenden, einer von mehreren zu demselben Zweck angestellten Versuchsreihen entnommenen Werte, ergaben in genügend überzeugender Weise Proportionalität zwischen Stromstärke und Spannung innerhalb des angewendeten Spannungsbereichs. Sie wurden mit derselben Platte erhalten, die die Werte der Tab. I lieferte, nachdem ihre Dicke durch Abschleifen auf 0,188 cm verringert worden war (vgl. S. 25). Die direkt aufeinander folgenden Ladungs- und Entladungsversuche wurden in ähnlicher ausführlicher Weise gemacht wie bei dem oben mitgeteilten Versuch, nur mit wesentlich verkürzten Versuchspausen (etwa je ein Tag). Es genügt wohl hier, die folgende Zusammenstellung mitzuteilen.

Tabelle II.  
Temperatur ca. 20,5°.  
Elektrometerrausschläge in Skalenteilen.<sup>1)</sup>

In der Zeit von 1 bis 16 Sek.	0,6 (1,5)	7,0 (7,7)	15,2 (15,5)	23,0
" " 16 " 121 "	1,9 (2,0)	9,7 (9,8)	19,1 (19,7)	29,5
Zur Zeit 7 Min. in 1 Min. . .	0,2 (0,2)	1,1 (1,0)	2,8 (2,1)	3,1
" " 5 " 4 " . .	unmerkl.(0,0)	unsicher(0,1)	0,2 (0,3)	0,4
" " 24 " 4 " . .	" (0,0)	unmerkl.(0,1)	0,2 (0,3)	0,4
Spannung in Volt . . . . .	103	514	1024	1540

Die eingeklammerten Zahlen sind aus den Werten der letzten Kolonne unter Annahme der erwähnten Proportionalität berechnet; ein Vergleich dieser Zahlen mit den daneben stehenden beobachteten Stromstärken zeigt, daß keine Andeutung für das Vorhandensein eines Sättigungsstromes innerhalb der angewendeten Spannungen (hier ebensowenig wie bei anderen darauf hingerichteten Versuchen) zu bemerken ist. Indessen möchte ich noch nicht mit aller Bestimmtheit das Vorhandensein eines Sättigungsstromes verneinen, und zwar aus folgenden Gründen. Im folgenden werden wir zu

1) Nach Berücksichtigung des Elektrometerganges.

der Anschauung gelangen, daß der Elektrizitätszufuhr der Platte zum Elektrometer zwei Ursachen zugrunde liegen, von denen die eine — wahrscheinlich die sogenannte Rückstandsbildung — im Anfang der Ladung überwiegend neben einer zweiten — einer Art von Leitung — tätig ist und daß die erstere allmählich an Einfluß abnimmt und dadurch die zweite mehr und mehr hervortreten läßt. Für den ersten Vorgang einen Sättigungsstrom zu erwarten, liegt zunächst kein Grund vor; dagegen könnte ein solcher bei dem zweiten Vorgang vielleicht doch vorhanden gewesen, aber nicht wahrnommen worden sein, weil die ihm messenden Werte — die nach längerem Anlegen der Spannung erhaltenen Elektrometerausschläge — zu klein und zu unsicher sind. Ich kann deshalb nur das Gesagte gewährleisten: daß sich nämlich in keinem Falle eine Andeutung für das Bestehen eines Sättigungsstromes gezeigt hat, trotzdem vielfach danach gesucht wurde.

Mehrfach war bei verschiedenen NaCl-Platten Gelegenheit zu beobachten, daß die von einer geladenen Platte in einer gewissen Zeit ihrer unteren Belegung zugeführte Elektrizitätsmenge unter sonst gleichen Versuchsbedingungen nach Verringerung der Plattendicke um so größer war, je geringer die Dicke, und zwar paßten sich die Ergebnisse dieser Versuche recht gut der Regel an, daß diese Mengen der Dicke umgekehrt proportional sind, sowohl für die stärkere Anfangszufuhr, wie für die so wesentlich kleinere Zufuhr nach längerer Ladung. Eine genauere Prüfung dieser Gesetzmäßigkeit hat aber nicht stattgefunden.

Die auch von Curie wahrgenommene Tatsache, daß die L.-F. des unbestrahlten NaCl mit zunehmender Temperatur zunimmt, konnte häufig an vielen Steinsalzpräparaten von uns bestätigt werden. Da es nur sehr wenige Faktoren gibt, durch die man die L.-F. beeinflussen kann, war es mit Rücksicht auf das Verlangen, über den Vorgang der Elektrizitätsbewegung im NaCl etwas Näheres zu erfahren, besonders erwünscht, diesen Einfluß genauer kennen zu lernen. Es war aber im Anfang nicht leicht, zu einigermaßen befriedigenden Ergebnissen in bezug auf den Temperatureinfluß zu gelangen, und erst gegen Ende der Untersuchung erhielt ich einen richtigen Einblick in diese Verhältnisse. Der Grund für die Schwierig-

keiten lag einmal in der Unsicherheit, die lange Zeit in erheblichem Maße den Versuchen anhaftete, dann aber auch in den bedeutenden Fehlern, die, wie auf S. 20 u. 21 mitgeteilt, eine Temperaturänderung der Platte und ihrer Umgebung bewirken können, und schließlich in dem Fehlen einer geeigneten Vorrichtung, um eine bestimmte Temperatur auf eine genügend lange Zeit konstant zu halten. Erst sehr spät habe ich, wie weiter unten mitgeteilt werden soll, diese Schwierigkeiten bis zu einem gewissen Grade überwinden können. Von den älteren Versuchen führe ich zunächst eine bei ziemlich hohen Temperaturen angestellte Reihe an. Die zu diesem Zwecke gewählte und nur mit Graphit versehene, unbestrahlte NaCl-Platte wurde in einer eigens angefertigten Vorrichtung aufgestellt und mittels elektrischer Heizung langsam erwärmt und darauf langsam abgekühlt. Zur Temperaturbestimmung diente ein Thermoelement; eine Spannung von -200 Volt war dauernd angelegt und mit der Messung der in je 15 Sekunden erfolgenden Elektrometerausschläge wurde erst etwa 4 Stunden nach Anlegen dieser Spannung, in welcher Zeit die Temperatur allmählich auf 65° gestiegen war, angefangen. In der folgenden halben Stunde stieg die Temperatur auf 130° und fiel dann in einer weiteren Stunde wieder auf 90°; während dieser Zeit wurden folgende Messungen gemacht.

Tabelle III.

Temperatur	65°	75°	85°	95°	110°	120°	126°	130°	128°	117°	106°	90°		
Elektrometer-	beob.	4,0	10	21	38	90	160	220	288	180	105	53	16	
aus-	ausschläge <sup>1)</sup>	berechn.	6,5	12	21	38	90,5	162	229	288	200	112	51	16
in 15 Sek.														

Man erkennt, daß die bei steigender Temperatur erhaltenen Werte kleiner sind als die entsprechenden bei abnehmender Temperatur gefundenen: der Anstieg der L.F. ist verhältnismäßig langsamer als der Abstieg, was unzweifelhaft hauptsächlich der bei dauernd angelegter Spannung zunehmenden „Polarisation“ zuzuschreiben ist. Außerdem ist ersichtlich,

1) Die zu den höheren Temperaturen gehörigen großen Werte wurden aus kleineren berechnet, die nach Einschaltung einer Zusatzkapazität zur Elektrometerleitung erhalten sind.

daß die L.-F. beschleunigt mit der Temperatur wächst und es wurde deshalb versucht, ob sich der Zusammenhang beider durch den Ausdruck  $\kappa = a \cdot c^t$  ( $\kappa$  L.-F.,  $t$  Temperatur,  $a$  und  $c$  Konstanten) darstellen ließe. Für die Berechnung von  $a$  und  $c$  wurden für zunehmende Temperaturen die Wertepaare bei  $95^\circ$  und  $130^\circ$ , für abnehmende Temperatur die Werte bei  $130^\circ$ , und  $90^\circ$  zugrunde gelegt. Der Erfolg dieser Rechnung ist nun, wie die „berechneten Werte“ zeigen, nicht besonders befriedigend, was auch in Anbetracht des erwähnten Einflusses der Polarisation und außerdem der in der Temperaturmessung vorhandenen Unsicherheit wohl zu erwarten war. Immerhin genügen die Bestimmungen, um einen ungefähren Wert des Temperaturkoeffizienten  $1/\kappa \cdot d\kappa/dt$  zu erhalten. Als solcher ergibt sich aus den Versuchen bei  $95^\circ$  und  $130^\circ$ : 0,06 und aus den bei  $130^\circ$  und  $90^\circ$ : 0,07.

Eine Wiederholung der Untersuchung in einem so großen Temperaturintervall, aber mit besserer Vorrichtung zur Herstellung, Konstanthaltung und Messung der Temperaturen und nicht mit dauernd, sondern von Temperatur zu Temperatur jedesmal nur kurz angelegter Spannung wäre erwünscht.

Weitere Versuche zu einer vorläufigen Bestimmung des Temperaturkoeffizienten wurden in dem kleineren Temperaturbereich angestellt, der sich durch Änderung der Temperatur im Zimmer erreichen ließ. Die älteren dieser Bestimmungen leiden in Anbetracht der Kleinheit der miteinander zu vergleichenden Stromstärken sowie der geringen Temperaturunterschiede besonders unter den Fehlern und Unstimmigkeiten, von denen oben die Rede war. Außerdem war auch die Sorgfalt, mit der die Versuche angestellt wurden, nicht besonders groß, weil anfänglich das Augenmerk mehr auf andere Dinge gerichtet war, als auf die Bestimmung des Temperaturkoeffizienten, und weil es mir erst allmählich bekannt wurde, daß in bezug auf Genauigkeit mehr zu erreichen war, als ich anfänglich durch irreführende Ergebnisse annahm. Immerhin konnte ich trotz dieser manchmal vorhandenen geringeren Übereinstimmung aus dem ziemlich großen Beobachtungsmaterial für eine Beurteilung des Temperatureinflusses nützliche Schlüsse ziehen, die sich dann auch bei einer später unternommenen exakteren Nachprüfung bestätigten. Ich führe eine Auswahl dieser älteren Versuche hier an.

Eine im Vorhergehenden nicht besonders erwähnte Platte lieferte in dem Temperaturintervall von  $17,1^{\circ}$  bis  $29,8^{\circ}$  Elektrometerausschläge von entsprechend  $1,0—6,3$  Skalenteilen in je 4 Minuten, nachdem sie etwa  $4\frac{1}{2}$  Stunden dauernd geladen war. Aus den beobachteten Werten ergibt sich der Temperaturkoeffizient zu 0,14.

Eine der beiden später noch zu erwähnenden, aus einem Stück gespaltenen Platten ergab etwa 10 Tage nach Anfang der Ladung bei den Temperaturen von  $14,0^{\circ}$  und  $24,3^{\circ}$  Stromstärken von 0,5 bzw. 2,4 Skalenteilen in 4 Minuten. Daraus berechnet sich ein Koeffizient von 0,18. Dieselbe Platte hatte vorher bei an verschiedenen aufeinanderfolgenden Tagen angestellten, kurz dauernden Ladungsversuchen in der Versuchsperiode von 16—121 Sekunden nach Anlegen der Spannung den Wert 0,056 für den Temperaturkoeffizienten geliefert.

Für die „alte“ Platte, über deren Verhalten im Laufe längerer Zeit vorhin berichtet wurde, leite ich aus Messungen, die mehrere Tage nach Anlegen der Dauerladung bei Temperaturen, die zwischen  $20,1^{\circ}$  und  $25,0^{\circ}$  lagen, gemacht wurden, den Wert 0,12 ab. Aus den späteren vielfachen, kurz dauernden Ladungsversuchen mit dieser Platte läßt sich mit Benutzung des dabei häufig vorkommenden Wechsels in der Zimmertemperatur von wenigen Graden einige Male der Temperatureinfluß berechnen. Von den so gefundenen Werten von  $1/\alpha \cdot d\alpha/dt$  gebe ich folgende wieder: 0,050, 0,042, 0,041, 0,057; alle wurden aus Elektrometerausschlägen abgeleitet, die in der Zeit von 16—121 Sekunden nach Anlegen der Spannung beobachtet sind.

Überblickt man diese Ergebnisse, so findet man das bemerkenswerte Resultat, daß bei allen Platten die kleineren Werte des Temperaturkoeffizienten gegen Anfang der Ladungszeit (16—121 Sekunden), die größeren dagegen nach stunden- oder tagelanger Ladung erschienenen. Da dieser Wechsel in der Größe des Temperaturkoeffizienten noch zweimal bei einer und derselben Platte wahrgenommen wurde, so ist er nicht durch einen Unterschied in dem gebrauchten Material verursacht.<sup>1)</sup> Für die Verschiedenheit der Werte läßt sich

1) Der aus den oben zuerst besprochenen Versuchen bei *höherer* Temperatur abgeleitete Wert 0,06—0,07 scheint in Anbetracht der  $4\frac{1}{2}$ -ständigen Ladungsdauer in Widerspruch zu stehen mit dem so-

nicht etwa als Grund anführen, daß im ersten Falle — nach kurzer Ladungsdauer — die Elektrometerausschläge — die ja, wie erwähnt, wegen der Bewegungsverhältnisse des Nadel-systems den zugeführten Elektrizitätsmengen nicht genau proportional sein können — diese Mengen in etwas anderem Maßstabe messen als im zweiten Falle. Denn diese Verschiedenheit in der Messung ist erfahrungsgemäß viel zu gering, um die bedeutenden Unterschiede in den Werten des Temperaturkoeffizienten erklären zu können. Als Ursache kann nur eine Abhängigkeit dieses Koeffizienten von der Ladungsdauer vermutet werden.

Wenn dem wirklich so wäre, so ließen sich vielleicht doch einige Schlüsse ziehen, die, wenn auch kein vollständig genügendes, so doch etwas mehr Licht bringen würden, um die bisher unbekannten elektrischen Vorgänge, die während der Ladung, bzw. der Entladung in einer Steinsalzplatte sich abspielen, einigermaßen verstehen zu können. Es lag mir deshalb daran, die ausgesprochene Vermutung auf ihre Richtigkeit noch weiter zu prüfen. Zu diesem Zwecke wurden gegen Ende der ganzen Untersuchung mit einer neuen NaCl-Platte mit aller Sorgfalt Versuche unternommen, über die unten (vgl. S. 69) im Zusammenhang mit anderen Fragen ausführlich berichtet werden soll. Sie ergaben eine volle Bestätigung der aus den oben erwähnten, etwas unsicheren Versuchen abgeleiteten Folgerung: eine Zunahme des Temperaturkoeffizienten mit der Ladungsdauer.

In diesem Verhalten des Temperaturkoeffizienten möchte ich eine Andeutung erblicken für das Vorhandensein von zwei der Natur nach verschiedenen Vorgängen, aus denen die Elektrizitätsbewegung in der Platte sowohl bei der Ladung als bei der Entladung besteht. Weiter unten (S. 69) wird dieser Gegenstand nochmals besprochen werden.

eben Gesagten. Ich möchte diesen Widerspruch beheben durch die Annahme, daß der Temperaturkoeffizient mit zunehmender Temperatur kleiner wird, für welche Annahme in der angegebenen Versuchsreihe selbst schon eine Andeutung gefunden werden kann. Die Beziehung  $x = ac^t$  soll deshalb auch nur auf kleine Temperaturintervalle angewendet werden.

Eine große Anzahl von Steinsalzpräparaten verschiedener Herkunft wurde auf ihre L.-F. untersucht, um etwas über die Frage zu erfahren, ob man in dieser Beziehung von einer Materialkonstante des NaCl überhaupt sprechen darf oder nicht.

Ich führe zunächst einige Ergebnisse an, die mit zwei Platten erhalten wurden, die durch Spaltung einer dickeren Platte aus einem klaren, keine Fehler aufweisenden Kristall hergestellt wurden, demnach ursprünglich im Kristall dicht benachbart waren. Da sich eine ziemlich beträchtliche L.-F. ergab, wurde mit Rücksicht auf die Curiesche Vermutung, daß Feuchtigkeit etwa die Ursache einer größeren L.-F. sein könnte, die eine Platte auf etwa 1 Stunde vorsichtig auf etwa 300° im elektrischen Ofen in einem Sandbad erhitzt und erst dann mit Glyzerin- und Graphitbelegungen versehen. Die darauf folgenden Ladungs- und Entladungsversuche ließen aber keine Andeutung einer Verschiedenheit der L.-F. der nicht erhitzten, vorher auch nicht im Exsikkator besonders getrockneten und der der erhitzten Platte erkennen. Beide Platten zeigten sowohl zu Anfang der Ladung wie auch später (nach 1—2 tägiger Ladung) innerhalb der Fehlern Grenzen übereinstimmendes Verhalten. Die für die Anfangszeit geltende, auf gleiche Dicke, gleichen Querschnitt und gleiche Ladung reduzierte L.-F. ergab sich doppelt so groß, die für die spätere Zeit geltende etwa 30mal so groß als die L.-F. der „alten“ Platte. Im übrigen zeigten sich die gleichen Erscheinungen wie bei jener Platte, d. h. eine langzeitige, durch Abschleifen und Neugraphitieren nicht rückgängig zu machende Abnahme der L.-F. und außerdem die beschriebenen kleineren Störungen. Erwähnenswert ist noch, daß ein Vertauschen von positiver und negativer Ladung keine besondere Verschiedenheiten in den Ergebnissen lieferte.

In ganz ähnlicher Weise verhielt sich eine Anzahl von anderen parallel der Würfelfläche orientierten Platten sehr verschiedener Herkunft, zum Teil nach vorhergegangener starker Erhitzung, zum Teil ohne weiteres benutzt. Ein Einfluß des Erhitzens ließ sich wieder nicht mit Bestimmtheit erkennen. Die gefundenen Unterschiede im Verhalten sind ebenfalls immer kleiner für die Anfangszeiten als für die Endzeiten der Ladung, was möglicherweise seinen Grund in der erwähnten großen Unsicherheit dieser kleinen End-

werte haben kann, das mir aber doch wieder, wie das vorhin über den Temperatureinfluß auf die L.-F. Mitgeteilte, darauf hinzudeuten scheint, daß die elektrischen Vorgänge in der Platte zu Anfang bzw. gegen Ende der Ladung nicht bloß quantitativ, sondern auch qualitativ voneinander verschieden sind.

Angesichts dieser Sachlage und des Umstandes, daß Braun mit wesentlich primitiveren Mitteln arbeitete als wir, muß ich seiner Angabe, daß die L.-F. des NaCl senkrecht zur Würfelfläche etwa doppelt so groß sei als senkrecht zur Oktaederfläche, für noch nicht genügend begründet halten.

---

(Der Inhalt des folgenden Abschnittes gehört zwar zu dem Kapitel über L.-F. des unbestrahlten NaCl, zum besseren Verständnis einiger Angaben empfiehlt es sich aber vielleicht, zuerst die später folgenden Abschnitte von S. 79 an zu lesen.)

Die Untersuchung hatte zwar zu einigen brauchbaren Ergebnissen geführt; es ließ sich aber nicht verkennen, daß manchmal Unstimmigkeiten und unerwartete Resultate aufgetreten waren, die zwar die Sicherheit jener Ergebnisse nicht gefährden, die aber doch, weil sie nicht erklärt werden konnten, das unbehagliche Empfinden bei mir wecken mußten, daß bei den Leitungsversuchen Faktoren, vielleicht Fehlerquellen, wirksam waren, die ich nicht kannte, und die mich deshalb verhinderten, das Verfahren vollständig zu beherrschen. Eine solche Erscheinung ist z. B. die mehrfach beobachtete, im Laufe einer längeren Zeit (von manchen Wochen) eintretende, allmähliche langsame Abnahme der L.-F. des nicht bestrahlten NaCl. Ich bin deshalb gegen Ende der Arbeit nochmals auf die Suche nach solchen Einflüssen gegangen. Das in diesen Abschnitten Mitgeteilte stellt somit teilweise eine Prüfung, aber auch eine Vervollständigung des Vorhergehenden dar.

Ich nahm zu dieser Untersuchung wegen ihrer tadellosen Beschaffenheit eine senkrecht zur Oktaedernormale geschliffene, hochpolierte NaCl-Platte, die noch in der Sammlung vorrätig und vor längerer Zeit von Steeg und Reuter bezogen worden war. Sie hat folgende Dimensionen: 3,0 cm : 3,0 cm : 0,295 bis 0,300 cm. Da ein Hauptverdacht sich gegen die Zuverlässigkeit der bisher benutzten Art der Belegung mit eingeriebenem Graphit richtete, deren Gleichmäßigkeit, Kohärenz und Fähig-

keit, erhaltene Spannungen vollständig auf die angedrückte Elektrometerleitung zu übertragen, bezweifelt werden konnte, wurde die neue Platte durch Kathodenbestäubung auf der einen Seite mit Silber kräftig belegt und nachher mittelst eines im Kreise geführten feinen Meißels mit einem 0,02 cm breiten, von Silber befreiten Isolierring von 1,70 cm äußerem Durchmesser versehen. Ein Anschleifen der Platte, wie es bei einer Belegung mit Graphit nötig gewesen wäre, brauchte somit nicht vorgenommen zu werden. Auf der anderen Seite erhielt die Platte in früher beschriebener Weise ein mit einer wenige Millimeter dicken Schicht einer gesättigten Lösung von NaCl in reinem Glyzerin gefülltes, 2,5 cm weites Glasröhrchen. Bei diesem Größenverhältnis der Durchmesser der beiden Elektroden waren bei dieser Platte für das Zustandekommen eines homogenen und unveränderlichen elektrischen Feldes noch günstigere Verhältnisse vorhanden als bei der Platte, über deren Verhalten im Anfang dieser Arbeit berichtet wurde. Gegen die sonst sehr empfehlenswerte Anwendung einer Silberbelegung bei allen zu untersuchenden Steinsalzplatten sprechen zwei Gründe: einmal die Umständlichkeit der Herstellung, aber mehr noch der nicht zu vermeidende Übelstand, daß die Platte bei der Kathodenbestäubung wahrscheinlich infolge der dabei auftretenden weichen X-Strahlung beträchtlich lichtempfindlich wird. Um diese Störung im vorliegenden Falle zu beseitigen, konnte das sonst als sehr wirksam befundene Mittel, starkes Erhitzen, nicht angewendet werden, weil die Gefahr nahe lag, daß dadurch die Silberschicht Schaden erleiden würde; deshalb wurde das andere, allerdings sehr zeitraubende Verfahren benutzt: die Platte blieb ungefähr 1 Jahr lang und dann, nachdem sich gezeigt hatte, daß sie ihre Aktivität noch nicht verloren hatte, noch weitere 17 Monate im Exsikkator, häufig vom Tageslicht beleuchtet, unbenutzt liegen. Nach dieser Zeit hatte die Platte ihre Lichtempfindlichkeit fast vollständig und gleichzeitig ihre bei der Kathodenbestäubung erworbene schwachgelbe Färbung verloren.

Es sei nun zunächst durch ausführliche Mitteilung eines Versuchs das bewährte Schema angegeben, nach dem bei allen Versuchen, wenn kein besonderer Grund für eine Abänderung vorlag, verfahren wurde.

## Tabelle IV.

30. Dez. Elektrometer gestern nachgezünden.

9<sup>h</sup> 35 Min. Skalenlampe angezündet.

Umgerührt.

 $V = 0$ , dunkel.

Elektrometergang.

Zeit	Zeigerstellung	Zeit	Zeigerstellung
9 <sup>h</sup> 44 Min. 0 Sek.	21,7 (Nullp.)	9 <sup>h</sup> 49 Min. 15 Sek.	21,7 (Nullp.)
9 <sup>h</sup> 45 " 0 "	21,8	9 <sup>h</sup> 50 " 15 "	21,7
9 <sup>h</sup> 48 " 0 "	21,4	9 <sup>h</sup> 53 " 15 "	21,9
9 <sup>h</sup> 49 " 0 "	21,3	9 <sup>h</sup> 54 " 15 "	22,0
	21,7 (Nullp.)		21,8 (Nullp.)
	- 0,4		+ 0,2

Temp.:  $t = 19,7^{\circ}$ ; Spannung: + 1530 Volt.9<sup>h</sup> 54 Min. 30 Sek. Anlegen der Spannung (dunkel).

Nach:	Zeigerstellung	Nach:	Zeigerstellung
1 Sek.	21,8 (Nullp.)	151 Sek.	21,8 (Nullp.)
6 "	24,4	181 "	23,4
11 "	25,6	211 "	25,1
16 "	26,5	241 "	26,7
31 "	28,1	271 "	28,1
46 "	29,6	301 "	29,4
61 "	30,9	331 "	30,8
91 "	33,0	361 "	32,0
121 "	34,9		

Daraus: Elektrometerausschlag in der Zeit nach Anlegen der Spannung:  
1—16 Sek.: 4,7 Skt., 16—121 Sek.: 8,4 Skt., 151—331 Sek.: 9,0 Skt.10<sup>h</sup> 1 Min. 0 Sek. Erdung (dunkel).

Nach:	Zeigerstellung	Nach:	Zeigerstellung
1 Sek.	21,8 (Nullp.)	151 Sek.	21,8 (Nullp.)
6 "	19,5	181 "	21,2
11 "	18,5	211 "	20,7
16 "	17,8	241 "	20,2
31 "	16,7	271 "	19,9
46 "	15,9	301 "	19,5
61 "	15,2	331 "	19,1
91 "	14,4		
121 "	13,8		

Daraus: Elektrometerausschlag in der Zeit nach der Erdung:  
1—16 Sek.: 4,0 Skt., 16—121 Sek.: 4,0 Skt., 151—331 Sek.: 2,7 Skt.Temp.  $t = 20,0^{\circ}$ .

Empfindlichkeit des Elektrometers: 150 Skalenteile.

Rückgang der Nadelstellung von 150 Skt. in 2 Min.: 6,2 Skt. Daraus  
Isolationsfehler etwa 4,5 Skt. in 2 Min.

In der Regel, und auch jetzt, hatte vor jedem Ladungsversuch die in ihrem Kästchen befindliche Platte nach dem vorhergegangenen Versuch ungefähr 24 Stunden lang im Dunkeln und mit Ableitung beider Elektroden zur Erde gestanden. Am Vorabend des Versuchs war die Nadelladung etwas verstärkt (vgl. S. 6), um die am Versuchstag erwünschte Elektrometerempfindlichkeit zu erhalten. Die Einfadenlampe, deren Bild als Lichtzeiger für das Elektrometer diente, wurde immer etwa 10 Minuten vor einem Versuch angezündet (vgl. S. 6). In dieser Zwischenzeit wurden vorsichtshalber durch kurzes Verbinden der Elektrometerleitung mit dem Normalelement und rasch darauf folgender Erdung ein paar größere, nur sehr kurz dauernde Ausschläge der Nadel erzeugt („umgeführt“ der Tab. IV), mit der Absicht, dadurch für die bei den folgenden Versuchen zu erwartenden Ausschläge eine von Versuch zu Versuch möglichst gleichbleibende Dämpfung der Nadelbewegung in der  $H_2SO_4$  des Elektrometers zu erreichen. Nach dieser Operation wurde das Normalelement von der Wippe  $W_2$  abgetrennt, um den auf S. 7 erwähnten kleinen Ausschlag beim folgenden Umlegen der Wippe zu vermeiden. Auch eine Beobachtung der Plattentemperatur, sowie der Ladespannung fand in dieser Zwischenzeit statt. Darauf folgte eine Bestimmung des in 5 Minuten auftretenden Elektrometerrausschlages, wenn das im übrigen isolierte Quadrantenpaar mit der stets verdunkelten Platte verbunden war, und zwar bei Ableitung der Glyzerinbelegung zur Erde, „ $V = 0$ “ der Tabelle (vgl. S. 16) und dann nach Abtrennung der Platte und ihrer Zuleitung von der Elektrometerleitung die Bestimmung des in 5 Minuten stattfindenden „Elektrometerganges“. Nachdem die Platte wieder mit dem Elektrometer verbunden worden war, fing durch Anlegen der Spannung an die Platte der eigentliche Ladungsversuch an. Der vor der Skala sitzende Beobachter zog eine Sekunde später die Wippe  $W_2$  und bestimmte dann von Zeit zu Zeit die Stellung des Lichtzeigers auf der Skala: im Anfang der Ladungszeit (1—16 Sekunden) alle 5 Sekunden, nachher (16—121 Sekunden) alle 15 Sekunden und noch später (151—361 Sekunden) alle 30 Sekunden. Um den geringen Einfluß des Isolationsmangels noch zu verringern, wurde zur Zeit 121 Sekunden das Elektrometer und die Plattenbelegung auf 30 Sekunden lang geerdet,

so daß die nun auftretenden Ausschläge wieder wie zu Beginn ihren Anfang von der Nullstellung des Elektrometers aus nahmen. Wie aus der Tab. IV ersichtlich, ergab der Versuch in der ersten Periode von 15 Sekunden: 4,7 Skalenteile, in der zweiten von 105 Sekunden: 8,4 Skalenteile und in der dritten von 180 Sekunden: 9,0 Skalenteile; mit Ablesungsfehlern oder Unregelmäßigkeiten im Betrage von 0,1, selten von 0,2 Skalenteilen, ist zu rechnen.

In entsprechender Weise wurde bei der folgenden Bestimmung des Entladungsstromes verfahren. Es ergaben sich dabei in der ersten Periode von 15 Sekunden 4,0 Skalenteile, in der zweiten von 105 Sekunden 4,0 Skalenteile und in der dritten von 180 Sekunden 2,7 Skalenteile.

Das Superpositionsgesetz trifft für die ersten Versuchszeiten in befriedigender Weise zu, indem der Ausschlag in den ersten 15 Sekunden: 4,0 Skalenteile, vermehrt um den beim Entladungsversuch zuletzt in 15 Sekunden erhaltenen:  $\frac{1}{2} \cdot 1,2 = 0,6$  Skalenteile, praktisch dasselbe Resultat gibt, das in den ersten 15 Sekunden beim Ladungsversuch erhalten wurde: 4,7 Skalenteile. Eine so gute Übereinstimmung findet sich nicht immer, was durch die oben erwähnte Unsicherheit in der Zeitmessung der *einen* Sekunde, die zwischen dem Anlegen der Spannung und dem Beginn des Elektrometerausschlages vergehen soll usw., verursacht wird. Die in den auf die ersten 15 Sekunden folgenden Zeitabschnitte erhaltenen Ausschläge fügen sich dem Gesetz weniger gut; die bei der Erdung gefundenen sind immer nicht unwesentlich kleiner, als man nach dem Gesetz erwarten würde. Über das Superpositionsgesetz wird wohl noch eine weitere Mitteilung erforderlich sein. Ich möchte nicht unterlassen, auf die große Gleichmäßigkeit des zeitlichen Verlaufs der Elektrometerausschläge bei diesen Versuchen — die übrigens auch bei allen anderen vorhanden war — aufmerksam zu machen.

Die nochmals gemessene Temperatur betrug  $20,0^\circ$ ; sie war folglich während des Versuchs um  $0,3^\circ$  gestiegen. Es liegt hier der in letzter Zeit seltene Fall einer wenig konstant gebliebenen Temperatur vor, und daraus entsteht eine immerhin noch merkliche Unsicherheit der Versuchsergebnisse (vgl. unten). Am Schluß des Versuchs wurde meistens, in der letzten Zeit immer, eine Bestimmung der Elektrometerempfindlichkeit

(Ausschlag für 1,018 Volt) und eine Prüfung der Isolation vorgenommen. Im vorliegenden Falle fand sich bezüglich der Isolation folgendes. Ein durch Verbindung mit dem Normal-element erzeugter, zur Vermeidung des Einflusses der elastischen Nachwirkung der Nadelauflähnung etwa 2 Minuten konstant gehaltener Ausschlag von 150 Skalenteilen nahm in 2 Minuten um 6,2 Skalenteile regelmäßig ab, wenn die Platte mit der von der Erde isolierten Elektrometerleitung verbunden war. Von diesem Betrag sind etwa 1,5 Skalenteile abzuziehen, die auf Rechnung kommen des noch weiterlaufenden Polarisationsstromes, so daß als Isolationsfehler bei einem Ausschlag von 150 Skalenteilen etwa 4,5 Skalenteile in 2 Minuten in Betracht kommen.<sup>1)</sup>

Im vorliegenden Falle beläuft sich also nach einer an-nähernden Rechnung die Korrektion für eine mangelhafte Isolation bei den drei oben angegebenen Werten der drei Perioden des Ladungsversuches: praktisch 0, bzw. + 0,1 Skalenteile, bzw. + 0,2 Skalenteile, also etwas mehr als die zugelassenen Ablesungsfehler. Die vielen Isolationsprüfungen ergaben, daß dieser Fehler im Laufe der Untersuchung mit der Ag-belegten Platte immer sehr gering war; da außerdem dieser Fehler den beobachteten Ausschlägen unbedenklich proportional gesetzt werden kann, und weil es bei dieser Arbeit wesentlich nur darauf ankam, das Verhältnis der verschiedenen in untereinander gleichbleibenden Versuchsperioden auftretenden Ausschläge kennen zu lernen, so habe ich die Ergebnisse dieser Isolationsprüfungen nicht in der folgenden Tabelle aufgenommen und die betreffende, ohnehin so geringfügige Korrektion nicht angebracht.

Viele Ladungs- und Entladungsversuche der beschriebenen Art wurden mit der gleichen Platte im Laufe einer längeren Zeit gemacht, und zwar meistens nur einer an je einem Tage, um es jedesmal mit einer Platte zu tun zu haben, die möglichst wenig von einem vorhergehenden Véruch beeinflußt und

---

1) Die dunkel gehaltene Steinsalzplatte selbst isolierte vorzüglich, wie aus der weiteren Beobachtung hervorging, daß der Rückgang des Lichtzeigers in 2 Minuten auch 5,1 Skalenteile von 150 Skalenteilen betrug, nachdem die Platte von der Elektrometerleitung abgeschaltet war. Die Ursache des von der Luftfeuchtigkeit beeinflußten Isolationsfehlers fand sich in dem Hartgummi, mit dem die Klemmschraube, die die Leitung an das Elektrometer befestigt, isoliert sein sollte.

deshalb geeignet war, um aus dem betreffenden Versuch den Einfluß einzelner Faktoren, deren Wirkung geprüft werden sollte, möglichst sicher erkennen zu lassen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in den Kolonnen 6, 7 und 8 der Tab. V S. 46 u. ff. enthalten, und zwar gebe ich der Kürze halber nur die bei den Ladungsversuchen erhaltenen Werte an und von diesen nur die Summen der einzelnen Ablenkungen, die in je einer der drei oben erwähnten Zeitperioden: 1—16 Sekunden, 16—121 Sekunden und 151—331 Sekunden beobachtet wurden. Der Grund, weshalb ich für die Darstellung in der Tabelle und für einen großen Teil der folgenden Besprechung die ersten 15 Sekunden der Ladungszeit und nicht weniger als ersten Zeitabschnitt wählte, ist hauptsächlich der, daß bei fast allen Versuchen der Tabelle die Nadelbewegung erst in dieser Zeit schon genügend gleichmäßig und langsam geworden war, um einen möglichst zuverlässigen Wert der Stromstärke liefern zu können. In der 9. Kolonne (unter  $\Sigma$ ) stehen die Summen der in den beiden letzten Perioden eines jeden Versuchs gefundenen Ausschläge; in der 10. Kolonne (unter  $\Sigma'$ ) deren für Selbstaufladung korrigierte, auf gleiche Spannung (1530 V.) und gleiche Elektrometerempfindlichkeit (150 Skalenteile) reduzierte Werte. In der 11., 12., 13. Kolonne befinden sich die mit jener Korrektion versehenen, auf gleiche Spannung, gleiche Elektrometerempfindlichkeit reduzierten Werte der in den Kolonnen 6, 7 und 8 verzeichneten Ausschläge, nach Vornahme einer Reduktion auf die gleiche Temperatur von 18°, wobei wegen nicht genügender Kenntnis und der verhältnismäßigen Kleinheit ihrer Temperaturkoeffizienten die Werte der ersten Periode (Kolonne 6) von dieser Korrektion ausgeschlossen wurden. Die 14. Kolonne enthält die Summen  $\Sigma''$  der beiden letzten Werte der vorstehenden Kolonnen.

Über das Verfahren, das bei diesen Korrekturen und Reduktionen angewendet wurde, sei folgendes berichtet. Wie die Korrektion für die Selbstaufladung von Elektrometer und Platte anzubringen war, wurde schon oben auf S. 17 mitgeteilt. Bei der Reduktion auf gleiche Spannung machte ich von der Gesetzmäßigkeit Gebrauch, daß die „Stromstärken“ den angelegten Spannungen proportional sind (vgl. S. 29). Um den Betrag der Korrektion für eine von 150 Skalen-

teilen abweichende Elektrometerempfindlichkeit zu ermitteln, wurde eine Anzahl von Ladungsversuchen mit verschiedener Empfindlichkeit gemacht, von denen einige in der Tab. V (unter 26. II. bis 19. III.) aufgeführt sind. Aus diesen Versuchen konnte mit genügender Sicherheit abgeleitet werden, daß jeder Skalenteil Elektrometerausschlag für jeden Skalenteil mehr oder weniger Elektrometerempfindlichkeit als 150 Skalenteile um 0,0024 Skalenteile vermindert bzw. vermehrt werden muß, um die Stromstärke zu erhalten, die sich unter sonst gleichen Umständen ergeben hätte, wenn die Elektrometerempfindlichkeit bei dem betreffenden Versuche 150 Skalenteile gewesen wäre.

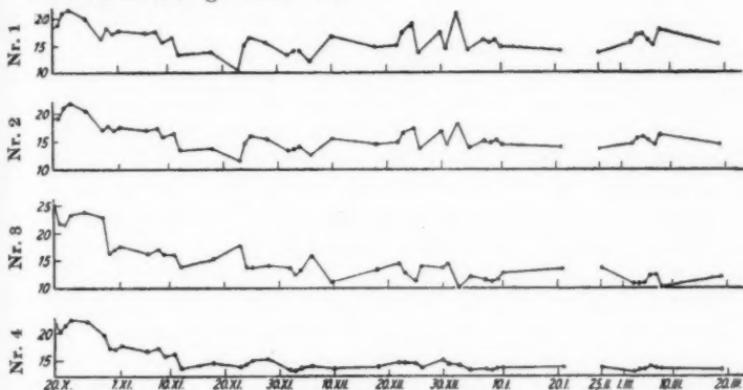


Fig. 2.

Um die Reduktion auf 18,0° vornehmen zu können, mußte zuerst aus den auf gleiche Spannung und gleiche Elektrometerempfindlichkeit reduzierten, von dem Einfluß der Selbstaufladung befreiten Summen der in den Zeiten 16—121 Sekunden und 151—331 Sekunden erhaltenen Elektrometerausschläge (Kolonen  $\Sigma'$  der Tab. V) ein Wert für den Temperaturkoeffizienten  $1/\alpha d\alpha/dt$  abgeleitet werden. Zu diesem Zwecke wurden zuerst diese in der Zeit vom 20. X. bis 19. III. erhaltenen Summen mit Ausnahme von wenigen, die von Bestrahlung, Beleuchtung oder Polarisation beeinflußt sind, auf Koordinatenpapier als Ordinaten mit den zugehörigen Zeiten ihrer Beobachtung als Abszissen eingetragen (vgl. die verkleinerte Darstellung in Fig. 2). Aus

dieser Darstellung (Punktreihe 1) ergab sich in gut sichtbarer Weise zunächst, daß bedeutende Abweichungen von einem glatten Verlauf vorliegen. Alsdann wurde versucht, die von einem Temperatureinfluß auf die L.-F. herrührenden Abweichungen durch Reduktion aller Werte auf  $18,0^{\circ}$  mit Hilfe eines Temperaturkoeffizienten von 0,025 zu vermindern; man erkennt aus der Punktreihe 2, daß diese Reduktion schon etwas geholfen hat. Das gleiche Verfahren wurde dann mit einem Koeffizienten 0,15 (mit Rücksicht auf folgendes so groß gewählt) angewendet; die so erhaltene Punktreihe 3 zeigt, daß wieder eine größere Unordnung eingetreten ist; es war offenbar der Temperatureinfluß überkompensiert worden. Schließlich wurde für den Koeffizienten noch der Wert 0,08 gewählt und die Punktreihe 4 erhalten; offenbar liegt dieser Wert dem richtigen näher als die beiden anderen. Nach einem vielleicht noch besser passenden Koeffizienten habe ich nicht gesucht in Anbetracht der ohnehin noch immer verbleibenden, von anderen Einflüssen herrührenden Sprünge im Verlauf der Kurve, und namentlich auch, weil ich mich für die vorliegenden Zwecke mit der erreichten Genauigkeit begnügen konnte. Es muß noch bemerkt werden, daß der Betrag des Temperaturkoeffizienten 0,08 für die Summe der in den Perioden 16 bis 121 Sekunden und 151—331 Sekunden erhaltenen Ausschläge abgeleitet wurde und wegen der Veränderlichkeit dieses Koeffizienten mit der Ladungsdauer (vgl. S. 34 und S. 69) eigentlich nicht auf die einzelnen Werte dieser beiden Perioden angewandt werden durfte. Bei den Werten der Kolonne 11 blieb, wie schon gesagt, die Temperaturreduktion unberücksichtigt.

Die Zahlen der beiden letzten Kolonnen wurden erhalten durch Division der Elektrometerausschläge der zweiten Versuchsperiode mit denen der ersten, bzw. der dritten Periode mit denen der zweiten. Sie sollen eine ungefähre Vorstellung liefern von dem zeitlichen Verlauf eines jeden Ladungsversuchs.

Die Tabelle enthält das Material für verschiedene im folgenden mitzuteilende Besprechungen.

Die zunächst zu beantwortende Frage ist, wie weit geht die Übereinstimmung in den Ergebnissen von Versuchen, die unter gleichbleibenden äußeren Umständen mit einer Platte angestellt wurden? Die Antwort wird angesichts der Tabelle folgende sein: Wenn die stets im Dunkeln gehaltene

Platte in regelmäßigen Intervallen von etwa einem Tage, bei gleicher Temperatur, mit der gleichen Spannung, während einer gleichen verhältnismäßig kurzen Ladungsdauer untersucht wird, so kann die angewendete Methode aus aufeinander folgenden Versuchen im allgemeinen für den vorliegenden Zweck recht brauchbare Resultate liefern. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß dann und wann in einer solchen Versuchsreihe plötzlich größere Unstimmigkeiten auftreten, die den Beobachter veranlassen werden, sich nur sehr selten mit dem Resultat eines einzelnen Versuchs zu begnügen. Die Tabelle, aber wohl am einfachsten ihre graphische Darstellung in Fig. 2, läßt solche sprungweise eingetretene Unstimmigkeiten deutlich erkennen; besonders in den ersten drei Wochen der in der Zeichnung berücksichtigten Untersuchung (20. X. bis 10. XI.) traten wohl infolge noch nicht genügender Übung und Bekanntschaft mit den Fehlerquellen unerwartete Sprünge auf. Es ist aber auch wohl zu beachten, daß, wie aus den „Bemerkungen“ der Tabelle ersichtlich ist, die Versuche absichtlich nicht immer in ununterbrochen gleicher Weise, was die Vorbehandlung der Platten anbetrifft, gemacht wurden, so daß manche scheinbare Unstimmigkeit begründet werden kann (vgl. unten). Ich kann mich jedenfalls nicht entschließen, die Ursache der nicht aufgeklärten und auch später nicht ganz ausgebliebenen Unstimmigkeiten einem besonderen Verhalten der Platte zuzuschreiben und muß vielmehr vermuten, daß Fehlerquellen daran schuld sind. Es sei noch bemerkt, daß eine entsprechende Darstellung der in der *ganzen* Versuchszeit (1—381 Sekunden) gemessenen Elektrizitätsmengen kein wesentlich anderes Bild von diesen Verhältnissen lieferte, als das obige aus den Versuchsperioden 16—121 Sekunden und 151—381 Sekunden abgeleitete.

Eingangs dieses Abschnittes erwähnte ich, daß die zu unternehmende Nachprüfung sich hauptsächlich mit der Frage beschäftigen sollte, ob die u. a. bei der „älteren“ Platte gefundene Erscheinung (vgl. S. 24 u. ff.) der langzeitigen Abnahme der „Stromstärke“, d. h. der Erscheinung, daß von Zeit zu Zeit mit verhältnismäßig kurz dauernder Ladungszeit ausgeführte Versuche fortwährend kleiner werdende Werte der L.-F. liefern, auch bei einer mit Silber und deshalb vielleicht einwandfreier belegten Platte auftreten würde. Sieht man sich die Tab. V

Tabelle

Datum	Selbstaufladung $V = 0$	Spannung	Elektromotorempfindlichkeit	$t$	Beobachtete Elektrometerausschläge			$\Sigma$	$\Sigma'$	Reduzierte Elektromotorausschläge ohne   mit Berücksicht. d. Temp.		
					1-16 Sek.	16-121 Sek.	161-331 Sek.			1-16 Sek.	16-121 Sek.	161-331 Sek.
16. I.	0,0	1570	158	20,0 <sup>0</sup>	4,5	10,5	8,8	19,3	18,5	4,3	8,5	7,25
16. I.	0,0	1570	158	20,0	4,5	10,7	8,3	19,0	18,2	4,3	8,7	6,8
16. I.	0,0	1570	175	20,0	3,5	10,0	8,9	18,9	17,5	3,3	7,8	7,1
9. VII.	?	1520	164	19,5	6,3	15,5	13,8	29,3	28,7	6,1	13,5	12,0
15. VII.	- 0,7	1540	173	20,0	4,3	10,5	9,0	19,5	19,2	4,3	8,7	7,7
17. VII.	- 0,8	1520	144	21,5	4,3	10,9	8,7	19,6	19,6	4,3	8,6	7,1
20. VII.	+ 0,5	1520	163	22,8	4,2	11,4	11,1	22,5	21,4	4,1	7,4	7,2
22. VII.	- 0,5	1500	165	23,0	3,8	10,5	10,8	21,3	21,7	3,8	7,2	7,4
25. VII.		1475		22,6	5,9	26,0	34,9	60,9				
27. VII.	0,0	1475	162	20,2	3,1	9,2	9,7	18,9	19,2	3,2	7,8	8,3
29. VII.	0,0	1470	170	18,5	2,4	7,8	7,8	15,6	15,6	2,4	7,5	7,5
20. X.	+ 0,3	1580	156	15,8	10,0	12,0	7,2	19,2	18,1	9,6	13,6	8,0
21. X.	?	1585	156	17,0	10,7	12,0	7,5	19,5	18,6	10,2	12,5	7,7
22. X.	?	1590	170	17,8	11,3	13,8	8,7	22,5	20,9	10,5	13,1	8,2
23. X.	?	1590	156	17,5	11,7	13,7	8,8	22,5	21,5	11,5	13,6	8,7
24. X.		1590		17,0	12,2	22,9	24,2	47,1				
26. X.	?	1600	152	16,8	9,9	12,7	8,2	20,9	19,9	9,5	13,3	8,6
27. X.		1585		17,0	11,3	32,6	45,4	88,0				
28. X.		1575		16,5	10,3	31,6	43,9	85,5				
29. X.	+ 0,2	1575	151	15,6	7,2	9,0	7,7	16,7	16,0	7,0	10,4	9,0
30. X.	+ 0,1	1590	153	18,7	7,1	9,5	9,3	18,8	18,0	6,8	8,6	8,4
31. X.	+ 0,1	1585	153	18,0	7,0	9,0	8,6	17,6	16,9	6,8	8,7	8,2
1. XI.	?	1575	153	18,0	7,5	10,0	8,0	18,0	17,4	7,3	9,6	7,8
6. XI.	?	1570	154	18,4	5,9	8,8	8,8	17,6	17,0	5,8	8,2	8,2
8. XI.	?	1560	159	18,2	5,5	9,5	8,6	18,1	17,4	5,3	9,0	8,2
9. XI.	?	1560	159	17,8	5,3	8,4	7,5	15,9	15,4	5,1	8,2	7,4
11. XI.	?	1550	153	18,2	5,1	8,5	8,1	16,6	16,4	5,0	8,3	7,9
12. XI.	?	1540	153	17,8	4,7	6,7	6,4	13,1	13,1	4,7	6,8	6,5
15. XI.		1520		16,8	6,5	20,3	28,1	48,4				
16. XI.		1520		21,8	25	125	176	301				
18. XI.	?	1520	164	17,4	4,4	6,9	7,2	14,1	13,7	4,3	7,0	7,3
22. XI.		1500		17,2	10,0	43	58	101				
23. XI.	+ 0,3	1485	150	14,4	3,9	5,3	5,0	10,3	10,3	4,0	7,2	6,5
24. XI.	+ 0,2	1480	153	18,6	4,3	7,2	7,4	14,6	14,8	4,4	7,0	7,15
25. XI.	+ 0,5	1480	150	19,2	4,4	7,8	8,4	16,2	16,3	4,5	7,2	7,6
28. XI.	0,0	1480	150	18,2	4,5	7,2	7,7	14,9	15,4	4,7	7,3	7,9
2. XII.	+ 0,6	1480	148	17,8	4,2	6,4	6,6	13,0	13,0	4,4	6,6	6,6
3. XII.	+ 0,4	1460	150	18,8	4,4	6,8	6,8	13,6	13,8	4,6	6,6	6,4
4. XII.	+ 0,3	1640	155	18,4	4,9	7,5	8,0	15,5	14,0	4,6	6,6	7,0
6. XII.	+ 0,4	1620	150	16,0	4,9	6,6	6,3	12,9	11,8	4,6	7,2	6,7
10. XII.	+ 0,5	1600	144	20,7	5,3	8,7	8,9	17,6	16,5	5,2	6,6	6,7
18. XII.	0,0	1565	151	18,6	4,5	7,3	7,6	14,9	14,5	4,4	6,8	7,1
18. XII.	?	1570	151	18,8	4,5	7,5	7,5	15,0	14,6	4,4	6,8	6,8
18. XII.	?	1575	151	19,2	4,5	8,0	7,5	15,5	15,1	4,4	7,1	6,6

V.

Elektro-  
schlage-  
zeit  
Temp.  
83  
71  
62  
51  
41  
32

12,0

7,7

7,1

7,2

7,4

8,3

7,5

8,0

7,7

8,2

8,7

8,6

9,0

8,4

8,2

7,8

8,2

8,2

7,4

7,9

6,5

7,3

6,5

7,15

7,6

7,9

6,6

6,4

7,0

6,7

6,7

7,1

6,8

6,6

$\Sigma'$			Bemerkungen
7,25	15,8	1,97	Wenn nicht das Gegenteil bemerkt ist, blieb die Platte von einem Versuch zum anderen immer ca. 24 Stunden lang geerdet im Dunkeln.
6,8	15,5	2,02	
7,1	14,9	2,36	
12,0	25,5	2,21	Diese 3 Versuche wurden $1\frac{1}{2}$ Jahre vor Anfang der folgenden Versuche gemacht.
7,7	16,4	2,02	Nach diesem Versuch behielt die Platte 2 Tage die Spannung im Dunkeln; sie wurde dann kurz auf ihre Aktivität geprüft und blieb dann 4 Tage geerdet im Dunkeln.
7,1	15,7	2,00	
7,2	14,6	1,80	
7,4	14,6	1,94	
8,3	16,1	2,44	Die Platte war v. d. Vers. 10 Min. X-bestrahlt worden.
7,5	15,0	3,13	Vermutlich noch Nachwirkung d. X-Bestrahlung bemerkbar.
8,0	21,6	1,42	
7,7	20,2	1,23	Versuch nach Umröhren der $H_2SO_4$ im Elektrometer.
8,2	21,3	1,25	
8,7	22,3	1,18	Versuch nach ca. 9. Min. langer Beleucht. d. geerdeten Platte.
8,6	21,9	1,40	
9,0	19,4	1,49	Versuche mit schwacher Beleuchtung der Platte.
8,4	17,0	1,27	
8,2	16,9	1,28	
7,8	17,4	1,31	Versuch nach Neueinsetzen der Plattenfassung.
8,2	16,4	1,41	
8,2	17,2	1,70	Versuch nach Reinigung aller Wippen.
7,4	15,6	1,61	
7,9	16,2	1,66	Versuch nach Reinigung der Plattenkontakte.
6,5	13,3	1,45	
7,3	14,3	1,63	Vers. n. 19stünd. Beleuchtung der geerdeten Platte.
6,5	13,7	1,80	Vers. n. 23stünd. nochmaliger Beleucht. d. geerdeten Platte.
7,15	14,15	1,59	
7,6	14,8	1,60	
7,9	15,2	1,55	
6,6	13,2	1,50	
6,4	13,0	1,43	Nach dem Versuch Akkumulatorenbatterie frisch geladen.
7,0	13,6	1,43	
6,7	13,9	1,57	
6,7	13,3	1,27	Nach dem Versuch Platte 8 Min. geladen und beleuchtet.
7,1	13,9	1,55	Umschaltung der ausnahmsweise nebeneinander geschalt.
6,8	13,6	1,55	Akkum. auf hintereinander zu
6,6	13,7	1,62	Entladungsdauer v. d. Vers. nur 13 Minuten
			Entladungsdauer v. d. Vers. nur 13 Minuten
			daher störende Zunahme der Spannung.

Tabelle V

Datum	Selbstaufladung $V = 0$	Spannung	Elektrometerempfindlichkeit	$t$	Beobachtete Elektrometerausschläge			$\Sigma$	$\Sigma'$	Reduzierte Elektrometerrausschläge		
					1-16 Sek.	16-121 Sek.	161-331 Sek.			ohne   mit Berücksicht. d. Temp.	1-16 Sek.	16-121 Sek.
19. XII.	- 0,5	1585	150	17,0 <sup>0</sup>	4,1	6,9	6,6	13,5	13,6	4,0	7,5	7,3
19. XII.	?	1585	150	17,0	4,2	6,1	5,8	11,9	12,0	4,1	6,6	6,4
19. XII.	- 1,5	1585	150	17,0	4,1	6,0	5,8	11,8	11,9	4,0	6,5	6,4
19. XII.	- 1,3	1585	150	17,0	4,1	6,1	5,8	11,9	12,0	4,0	6,6	6,4
19. XII.	- 0,5	1585	150	16,6	4,3	6,2	6,3	12,5	12,6	4,2	6,9	7,2
19. XII.	- 1,8	1585	150	16,6	4,1	6,1	5,8	11,9	12,0	4,0	6,8	6,6
20. XII.	?	1580	150	15,2	3,8	5,9	5,5	11,4	11,0	3,7	7,1	6,6
21. XII.		1580		18,6	10,6	44,2	62,6	106,8				
22. XII.	+ 0,8	1575	156	18,2	4,2	7,9	8,4	16,3	14,8	4,1	7,2	7,4
23. XII.	+ 0,3	1575	156	20,0	4,2	9,2	9,1	18,3	17,2	4,1	7,4	7,2
25. XII.	+ 0,5	1570	153	21,5	4,5	10,0	10,3	20,3	19,0	4,4	7,1	7,3
26. XII.	+ 0,3	1565	150	17,8	4,1	6,9	7,3	14,2	13,5	4,0	6,7	7,0
26. XII.	- 2,3	1565	150	17,8	3,8	6,2	6,3	12,5	12,0	3,7	6,1	6,1
26. XII.	- 2,8	1565	150	17,8	3,6	5,8	5,9	11,7	11,2	3,5	5,7	5,7
27. XII.	- 0,9	1565	150	17,6	3,8	6,1	6,0	12,1	12,8	3,7	6,5	6,7
29. XII.		1565		20,0	16,4	79	110	189				
30. XII.	- 0,4	1560	150	19,7	4,7	8,4	9,0	17,4	17,4	4,6	7,2	7,0
31. XII.	+ 0,1	1560	150	18,0	4,3	7,3	7,3	14,6	14,3	4,2	7,2	7,1
2. I.	+ 0,8	1555	150	22,8	5,0	10,5	11,5	22,0	20,8	4,9	6,8	7,4
4. I.	+ 0,2	1530	148	19,0	4,2	7,0	7,3	14,3	14,1	4,2	6,4	6,6
7. I.	- 0,4	1510	148	20,2	4,2	7,6	7,7	15,3	15,9	4,3	6,5	6,8
7. I.		1510	148	21,4	3,9	5,7	6,4	12,1	12,3	4,0	4,4	5,0
					(3,7)	(4,8)	(3,6)					
8. I.	- 0,2	1510	145	20,2	4,2	7,4	7,6	15,0	15,4	4,3	6,5	6,6
9. I.	- 0,1	1500	147	20,1	4,0	7,6	7,8	15,4	15,9	4,1	6,6	6,8
10. I.	0,0	1485	145	19,0	4,0	7,0	7,1	14,1	14,7	4,1	6,7	6,8
18. I.	+ 0,1	1590	136	17,6	4,9	10,0	11,3	21,3	21,0	4,8	10,2	11,5
21. I.	+ 0,8	1595	140	18,4	4,3	7,5	7,8	15,3	14,1	4,2	6,8	6,9
25. II.	- 0,5	1545	128	15,8	4,5	5,4	4,6	10,0	10,8	4,7	6,8	6,1
25. II.	- 0,6	1535	125	18,0	- 4,9	- 7,0	- 6,5	- 13,5	- 13,5	- 5,1	- 7,1	- 6,4
3. III.	+ 0,1	1530	127?	20,4	- 4,7	- 7,5	- 7,2	- 14,7	- 15,4	- 4,9	- 6,4	- 6,3
4. III.	+ 0,1	1525	123	21,0	- 4,8	- 8,0	- 7,8	- 15,8	- 16,7	- 5,1	- 6,6	- 6,6
5. III.	- 0,5	1525	158	21,0	- 5,0	- 8,9	- 8,9	- 17,8	- 17,1	- 4,9	- 6,7	- 6,6
6. III.	- 0,2	1520	125	19,7	- 4,6	- 7,6	- 7,4	- 15,0	- 15,8	- 4,8	- 7,0	- 6,8
7. III.	- 0,4	1515	154	19,2	- 4,5	- 7,9	- 7,4	- 15,3	- 15,0	- 4,5	- 7,1	- 6,5
8. III.	?	1510	126	21,7	- 4,7	- 8,6	- 8,2	- 16,8	- 17,8	- 5,0	- 6,8	- 6,5
19. III.	- 0,6	1580	156	19,6	- 4,4	- 8,3	- 8,3	- 16,6	- 15,2	- 4,3	- 6,7	- 6,5

(Fortsetzung).

Elektro- lage mit Temp. 101° S. 60.	$\Sigma''$		Bemerkungen
7,3	14,8	1,88	0,97
6,4	13,0 (?)	1,61	0,97
6,4	12,9 (14,4)	1,62	0,98
6,4	13,0 (14,3)	1,65	0,97
7,2	14,1	1,64	1,04
6,6	13,4 (14,2)	1,70	0,97
6,6	13,7	1,92	0,93
			Entladungsdauer vor dem Versuch: 9 Minuten
7,4	14,6	1,76	1,03
7,2	14,6	1,80	0,97
7,3	14,4	1,61	1,03
7,0	13,7	1,68	1,04
6,1	12,2 (14,5)	1,65	1,00
5,7	11,4 (14,2)	1,63	1,00
6,7	13,2	1,76	1,03
			Entladungsdauer vor dem Versuch: 6 Minuten
7,9	15,1	1,56	1,10
7,1	14,3	1,71	0,99
7,4	14,2	1,39	1,09
6,6	13,0	1,52	1,03
6,8	13,3	1,51	1,05
5,0	9,4	1,10	1,14
			Nach häufigem kurz dauerndem (1 Min.) Wechsel von Spannung und Erdung im Dunkeln. Werte des Entladungsversuches.
6,6	13,1	1,51	1,02
6,8	13,4	1,61	1,03
6,8	13,5	1,63	1,01
11,5	21,7	2,13	1,13
8,9	13,7	1,62	1,01
6,1	12,9	1,45	0,90
- 6,4	- 13,5	1,39	0,90
- 6,3	- 12,7	1,31	0,98
- 6,6	- 13,2	1,29	1,00
- 6,6	- 13,3	1,37	0,98
- 6,8	- 13,8	1,46	0,97
- 6,5	- 13,6	1,56	0,91
- 6,5	- 13,3	1,36	0,96
- 6,5	- 13,2	1,56	0,97
			Bei einer Probe erwies sich die Platte als noch schwach lichtempfindlich.
			Nach d. Vers. blieb Platte 8 Tage bei $V = 0$ dem Tageslicht ausgesetzt, Lichtempfindlichkeit nachher noch nicht ganz verschwunden.
			Nachwirkung der Beleuchtung.
			Nach d. Vers. blieb Platte zur Bestimmung d. Temp.-Koeff. 34 Tage im Dunkeln geladen u. dann 24 Stunden im Dunkeln geerdet. (Vgl. S. 66.)
			Erster Versuch mit negativer Ladung.
			Nach d. Vers. Platte auf kurze Zeit aus ihrem Kästchen entfernt.

auf diese Frage an, so ergibt sich folgendes. Die allerersten, dort verzeichneten Versuche (vom 16. I.) wurden mehr probeweise, und zwar alle an einem Tage mit der noch sehr lichtempfindlichen Platte (vgl. S. 37) gemacht; sie kommen deshalb für die vorliegende Frage nicht in Betracht.  $1\frac{1}{2}$  Jahre später, in welcher Zwischenzeit die Platte mitsamt Fassung und Glyzerinelektrode abwechselnd bei Tageslicht und im Dunkeln im Exsikkator untergebracht war und ihre Lichtempfindlichkeit infolgedessen genügend verloren hatte, folgten die unter dem 9. VII. bis 22. VII. verzeichneten Versuche. Die fünf ersten erhaltenen Werte der Kolumne  $\Sigma''$  weisen nun in der Tat wiederum eine solche zeitliche Abnahme (von 25,5 auf 14,6 Skalenteile) auf, und zwar ähnlich wie in anderen Fällen einige Male beobachtet wurde, und was auch in diesem Falle vielleicht von der unter „Bemerkungen“ vermeldeten Behandlung herrühren könnte, nach dem ersten Versuch mit einem besonders großen Sprunge von 25,5 auf 16,5 Skalenteile. Es lag demnach anscheinend kein Grund mehr vor, dem Belegen der Platte mit Graphit die Schuld zu geben an dem Auftreten der langzeitigen Abnahme der „Stromstärken“.

Eine nochmalige Bestätigung dieses Ergebnisses finden wir in der langen Versuchsreihe, die am 20. X. anfing. Bevor wir aber diese besprechen, muß der Vollständigkeit halber noch mitgeteilt werden, daß die Platte gleich nach den fünf erwähnten Versuchen mit Rücksicht auf andere noch zu beantwortende Fragen einer schwachen X-Bestrahlung ausgesetzt und dann an drei folgenden Tagen (25., 27., 29. VII. der Tabelle) auf ihre L.-F. geprüft wurde. Über diese Versuche wird weiter unten noch berichtet werden. Darauf folgte eine Ruhepause von etwa 3 Monaten, in der die Platte, mit ihrer Fassung und ihren Elektroden versehen meistens im Dunkeln im Exsikkator liegen blieb. Kurz vor dem 20. X. wurde sie dann in ihr Kästchen gebracht und rasch auf ihre Lichtempfindlichkeit geprüft; sie erwies sich dabei wohl noch als lichtempfindlich, aber nach gemachten Erfahrungen doch nicht so stark, um damit ihr folgendes Verhalten in bezug auf die langzeitige Abnahme erklären zu können. Aus der Tabelle, aber zum größten Teil noch einfacher wieder aus der Kurve 4 der Fig. 2, ist dieses Verhalten zu entnehmen. Es ist ersichtlich, erstens daß die L.-F. in der 3monatlichen

Ruhепause, ähnlich wie in der vorherigen  $1\frac{1}{2}$ jährigen, wieder gestiegen war, und zwar beinahe auf denselben Betrag, der nach der ersten Ruhепause gefunden war; zweitens, daß die L.F. wiederum im Verlauf der Zeit, etwa bis zum 2. XII, in verlangsamtem Tempo abnahm. Ob von da an eine noch weitere sehr langsame Abnahme stattfand, kann nicht entschieden werden; der weitere Verlauf der Kurve könnte wohl als eine Annäherung an einen konstant bleibenden Wert der Stromstärken gedeutet werden, was als eine allmähliche An gewöhnung der Platte an ihre regelmäßige, tägliche, elek trische Behandlung angesehen werden könnte. Es ist aber nunmehr ganz sicher, daß eine langzeitige Abnahme der Stromstärken in verschiedenen Fällen eingetreten ist, und daß die Platte sich in Ruhепausen hat „erholen“ können.

Es fällt noch eine besondere, vermutlich mit der soeben besprochenen ursächlich zusammenhängende Erscheinung auf, wenn wir in den Kolumnen 11, 12 und 13 den zeitlichen Ver lauf der reduzierten Stromstärken verfolgen. Wir erfahren, daß die in den drei Versuchsperioden 1—16 Sekunden usw. erhaltenen Stromstärken sich nicht in gleichem Maße an der langzeitigen Abnahme beteiligt haben. Wählen wir zu einem Vergleich z. B. den Versuch vom 22. X. und den vom 26. XII., so finden wir, daß sowohl absolut als auch relativ die erste der drei Stromstärken am meisten (von 10,5 auf 4,0 Skalenteile), die zweite weniger (von 18,1 auf 6,7) und die dritte am wenigsten (von 8,2 auf 7,0) abgenommen hat. Es hat demnach allen Anschein, als ob sich nach einer genügend langen Ladungs dauer eines Versuches für die L.F. Werte hätten ergeben müssen, die sich von Versuch zu Versuch überhaupt nicht mehr änderten. Diese Wahrnehmungen und Überlegungen sind m. E. wiederum, wenn auch kein Beweis, so doch eine gute Stütze für die oben einige Male geäußerte Ansicht, daß die bei einem Ladungsversuch im Steinsalz vor sich gehenden elek trischen Prozesse zweierlei Art sind. Natürlich spiegelt sich das beschriebene Verhalten der Platte in den Verhältniszahlen der beiden letzten Kolumnen der Tab. V ab; sie geben eine ungefähre Anschauung von dem Verlauf eines Versuchs; je kleiner die Zahlen in einer und derselben Kolumne sind, desto rascher war der Abstieg der Stromstärke bei dem betreffenden Versuch.

Nachdem somit festgestellt war, daß die Vermutung,

die langzeitige Abnahme der L.-F. sowie die erwähnten Unregelmäßigkeiten in den Versuchsergebnissen rührten von der Art der Belegung der NaCl-Platte — mit Graphit — her, nicht zutraf, galt es, nach anderen Ursachen zu suchen, bzw. früher in dieser Richtung angestellte Versuche sicher zu stellen. Vorher mag aber noch in Kürze angegeben werden, was über die langzeitige Abnahme der L.-F. auch bei anderen Platten übereinstimmend in der Hauptsache gefunden wurde.

Eine langzeitige Abnahme ist nicht die Folge von einem längeren Aufenthalt der von elektrischen Kräften nicht beanspruchten Platte in ihrem Kästchen, wie u. a. aus einem auf S. 25 mitgeteilten Versuch hervorgeht, der nach einer 20 tägigen Pause angestellt wurde. Sie tritt nur als Folge von Ladungs-Entladungsversuchen auf. Eine Erhöhung der stark gesunkenen L.-F. wurde beobachtet, wenn die mitsamt ihrer Fassung aus dem Kästchen herausgenommene Platte längere Zeit im Exsikkator liegen geblieben war. Ob der gleiche Erfolg auch eintritt, wenn die geerdete Platte längere Zeit im Kästchen verbleibt, wurde erst später (vgl. S. 77) untersucht. Ein Herausnehmen und Wiedereinsetzen der Platte hat an und für sich keine Folgen. Abschleifen der Platte, Säuberung der Glyzerinelektrode oder eine viele Stunden lang andauernde intensive Beleuchtung (vgl. die darauf bezüglichen Versuche der Tab. V) können ebenfalls die gesunkene L.-F. nicht wieder auf die ursprüngliche Höhe bringen. Eine mit Graphit belegte und eine mit Silber belegte Platte zeigen das gleiche Verhalten.

Im folgenden ist eine Anzahl von Erklärungsversuchen für diese Erscheinung mitgeteilt.

a) Es ist schon auf S. 18 ein Versuch erwähnt, der den Verdacht entfernte, daß eine durch Temperaturänderung der im Elektrometer vorhandenen  $H_2SO_4$  bewirkte Änderung ihrer Viskosität die Dämpfung und damit die Bewegung der Elektrometernadel möglicherweise so sehr beeinflussen könnte, daß dadurch merkliche Verschiedenheiten in den Nadelablenkungen zustande kämen. An jener Stelle wurde auch die Frage bereits beantwortet, ob ein Umrühren der seit einer längeren Zeit unberührt im Elektrometer gestandenen  $H_2SO_4$ , in der sich vielleicht Schichten von ungleicher Kon-

zentration oder eine oberflächliche Haut größerer Widerstandskraft gebildet haben könnten, eine wesentliche Veränderung der Versuchsergebnisse zur Folge hatte. Der betreffende Versuch ist der folgende, in der Tabelle aufgenommene. Am 22. X. öffnete ich das Elektrometer, rührte die  $H_2SO_4$  kräftig um, setzte das Elektrometer wieder zusammen und machte am gleichen und auch am folgenden Tage je einen Versuch. Trotzdem die  $H_2SO_4$  vorher mehrere Monate unberührt gestanden hatte, trat, wie aus der Tabelle ersichtlich ist, nach dem Umrühren keine Vergrößerung der Ausschläge ein, deren Betrag einen sicheren Anhaltspunkt für die Richtigkeit der Annahme, die langzeitige Abnahme der L.-F. beruhe auf einer zeitlichen Veränderung der Zusammensetzung der  $H_2SO_4$ , gegeben hätte. Daß kleinere, dann und wann beobachtete Unstimmigkeiten in den Versuchsergebnissen durch diesen Einfluß nicht verursacht sein können, will ich nicht behaupten. Die langzeitige Abnahme läßt sich aber nicht darauf zurückführen.

b) Über den Einfluß einer Änderung der Akkumulatorenspannung wurde bereits auf S. 20 berichtet, und es sei hier nur noch hinzugefügt, daß die — nicht mitgeteilten — Entladungsversuche, deren Ergebnisse natürlich nicht von einer solchen Änderung beeinflußt werden können, die gleiche langzeitige Abnahme aufwiesen wie die zugehörigen Ladungsversuche.

c) Ein weiterer Verdacht richtete sich gegen die verschiedenen Kontakte, die in den Leitungen vorhanden waren. Gelötete oder mit Klemmschrauben hergestellte Kontakte konnte ich als fehlerfrei betrachten, dagegen war zu prüfen, ob die Hg-Kontakte in den Wippen, sowie die Kontakte an der Platte und an ihrer Fassung tadellos funktionierten. Einige darauf bezügliche Versuche sind in der Tabelle aufgenommen: Nachdem die L.-F. schon beträchtlich abgenommen hatte, wurden am 31. X. der Bajonettverschluß der Plattenfassung und am 7. XI. die verschiedenen Wippen, am 10. XI. die Kontaktstelle des Schuttringes der Platte einer Reinigung und Revision unterworfen. Keine dieser Operationen hatte aber, wie aus der Tabelle ersichtlich, und was auch in Übereinstimmung mit früheren ähnlichen Versuchen mit anderen Platten ist, eine Erhöhung der Stromstärke auf den Anfangs-

wert vom 20. X. zur Folge, so daß der Verdacht gegen diese Kontaktstellen als grundlos aufgegeben werden mußte. Einer besonderen Besprechung bedarf aber noch die Frage, ob sich mit diesen Versuchen auch die Verbindung der unteren Plattenbelegung mit der Elektrometerleitung als einwandsfrei erwiesen hat. Diese Stelle ist besonders verdächtig; der Kontakt wird nämlich gebildet von einem schwach gewölbten Platinplättchen, das mittelst einer weichen Spiralfeder gegen die dünne Plattenbelegung gedrückt wird (vgl. a. a. O. S. 456), und es erscheint bei der Kleinheit dieser Verbindungsstelle wohl möglich, daß auch nach jedesmaligem, beim Einsetzen der Platte in ihrem Kästchen vorgenommenen Abstäuben der elektrische Kontakt sich (sei es durch eine mechanische Wirkung von kleinen Erschütterungen, oder durch die zwar kurz dauernden, aber verhältnismäßig kräftigen elektrischen Ströme beim Anlegen der Spannung an die Platte) von Versuch zu Versuch so verschlechtere, daß die geringen Spannungsänderungen, wie sie bei den L.-F.-Bestimmungen vorkommen, nicht mehr gleich gut von der Belegung auf die Elektrometerleitung übertragen werden können und daß infolgedessen die Stromstärke im Laufe einer längeren Versuchszeit kleiner wird. Wäre die so häufig beobachtete langzeitige Abnahme der L.-F. auf diesen Umstand zurückzuführen gewesen, so hätte man aber doch mit Recht erwarten können, daß nach dem Herausnehmen der Platte aus ihrem Kästchen zum Zwecke der erwähnten Reinigung, sowie auch zum Zwecke einer X-Bestrahlung, wobei natürlich die Verbindung der Platte mit der Elektrometerleitung gelöst werden mußte, und nach ihrem Wiedereinsetzen, also nach der Wiederherstellung der fraglichen Verbindung ein folgender Ladungsversuch wieder den anfangs beobachteten größeren Wert der L.-F. oder wenigstens eine wesentliche Vergrößerung liefert haben müßte. Die angeführten Versuche sind die vom 27. VII. und vom 22. XII., sowie auch mancher Versuch mit anderen Platten, z. B. mit der oben ausführlich besprochenen „alten“ NaCl-Platte, bei der sogar die Graphitbelegung erneuert wurde. Diese Versuche lassen aber von einer Vergrößerung nichts erkennen. Ich habe somit keinen Grund für die Annahme, daß die langzeitige Abnahme auf irgendwelchen Kontaktfehler zurückzuführen sei. Daß aber verhältnismäßig geringe un-

regelmäßig aufgetretene Verschiedenheiten in den Stromstärken von aufeinander folgenden Versuchen oder auch die erwähnte, ein paarmal wahrgenommene sprungweise Veränderung der L.-F. im Laufe ihrer langzeitigen Abnahme durch Änderung in der Güte des Kontaktes der Plattenbelegung mit der Elektrometerleitung verursacht wurden, ist nicht ausgeschlossen. Eine Entscheidung über diese Möglichkeit könnte mit einer Ag-belegten Platte, die das Anlöten von Elektroden und deshalb die Herstellung eines sicheren Kontaktes gestattet, wohl herbeigeführt werden (vgl. die allerletzten Versuche S. 77 u. ff.).

d) Noch eines weiteren Erklärungsversuchs für die langzeitige Abnahme der L.-F. muß hier gedacht werden. Auf S. 26 ist die Wahrnehmung mitgeteilt, daß die Stromstärke insbesondere kurze Zeit nach Anlegen der Spannung wesentlich beeinflußt werden kann durch eine Inhomogenität des elektrischen Kraftfeldes zwischen oberer und unterer Elektrode der Platte. Es wurde bei jenem Versuch eine besondere Rückstandsbildung beobachtet, die von Kraftlinien herrührte, die durch eine Kittschicht, die beim Aufkitten des Glaströgchens unbeabsichtigt stehen geblieben war, hindurch gingen. Man könnte nun vermuten, daß ein solcher Einfluß auch bei den Versuchen mit der Ag-belegten Platte als Ursache einer vorübergehenden großen L.-F. tätig gewesen, und daß die langzeitige Abnahme dadurch zustande gekommen wäre, daß die Glyzerinsalzlösung sich allmählich zwischen Platte und Kitt ausgebreitet und dadurch die Wirkung des Kittes, eventuell auch des Glases, vom Trögchen ausgeschaltet hätte. Gegen diese Ansicht läßt sich nun einwenden: 1. daß der damals so wirksame Kittring jetzt sorgfältig vermieden war, und 2. daß das Querschnittsverhältnis von oberer und unterer Belegung bei der Ag-belegten Platte für das Zustandekommen eines homogenen Feldes besonders günstig war, und 3. daß nicht einzusehen ist, weshalb dieser vermehrende Einfluß sich erst nach Jahren bemerkbar gemacht haben sollte; das Trögchen wurde nämlich in der ganzen Versuchszeit niemals ab- und niemals wieder neu aufgekittet.

e) Die im Vorhergehenden beschriebenen und noch andere Versuche, eine Ursache für die langzeitige Abnahme in der

*Versuchsanordnung* zu finden, haben keine solche erkennen lassen; es bleibt deshalb nur noch übrig, zu überlegen, ob sie nicht *in der Platte* selbst gefunden werden kann. Bei dieser Frage wird man die aus der Tabelle ersichtliche und auch bei anderen Platten erhaltene Tatsache im Auge behalten müssen, daß die größte, auf gleiche Temperatur bzw. reduzierte Stromstärke immer und nur bei einem ersten Versuch mit einer seit langer Zeit oder überhaupt nicht benutzten Platte auftrat. Man kommt dadurch zu der Vorstellung, daß das Material im Verlauf einer Versuchsreihe möglicherweise eine Veränderung erleidet, die durch längeres Liegen rückgängig gemacht werden kann.

Fragen wir, worin diese Veränderungen haben bestehen können.

f) Zunächst sei ein Verdacht beseitigt, der sich vielleicht speziell gegen die in der Tab. V angeführten Versuche richten könnte. Man könnte nämlich vermuten, daß die beiden (am 9. VII. bzw. am 20. X.) beobachteten großen Stromstärken und deren folgende Abnahme die Folge seien von den  $1\frac{1}{2}$  Jahre, bzw. 3 Monate vorhergegangenen Bestrahlungen. Übt doch eine X-Bestrahlung, auch ohne daß eine nachherige Beleuchtung stattgefunden hat, bei einem später mit der verdunkelten Platte unternommenen Ladungsversuch auf die Stromstärke einen vermehrenden, mit der Zeit wieder verschwindenden Einfluß aus. Man erkennt diese später noch zu besprechende Tatsache z. B. an den Versuchen, die gleich auf die am 25. VII. bzw. 20. XII. vorgenommenen Bestrahlungen folgten.<sup>1)</sup> Diese Vermutung ist aber nicht zutreffend. Erstens weil, wie schon früher erwähnt, Platten, die keiner X-Bestrahlung ausgesetzt waren, auch die langzeitige Abnahme zeigten, zweitens und insbesondere, weil nach gemachten Erfahrungen nicht angenommen werden kann, daß die Nachwirkungseigenschaft der jetzt gebrauchten Platte noch  $1\frac{1}{2}$  Jahre bzw. 3 Monate

1) Es ist vielleicht bemerkenswert, daß jede neue von der Glyzerinseite her im Dunkeln bestrahlte, und unter Vermeidung jeglicher Beleuchtung in ihr Kästchen gebrachte NaCl-Platte gleich nachher bei Ableitung ihrer Glyzerinelektrode zur Erde auf kure Zeit eine schwache, aber deutlich erkennbare Strömung von negativer Elektrizität zum Elektrometer lieferte.

nach ihrer Bestrahlung kräftig erhalten war, um dann, wie die auf den 9. VII. bzw. 20. X. folgenden Versuche zeigen, innerhalb von etwa 2 Tagen zu verschwinden. Wie bald sich die Nachwirkung einer X-Bestrahlung auf die im Dunkeln erhaltenen Stromstärken nicht mehr zeigt, kann man aus den Versuchen vom 25. bis 29. VII. und vom 21. bis 24. XII. erkennen. Daß auch die bei dem Einsetzen der Platte in ihr Kästchen nötige schwache Beleuchtung der noch lichtempfindlichen Platte durch ihre „Nachwirkung“ die Ursache nicht gewesen sein kann, zeigen die auf eine besonders zu diesem Zwecke am 15. und 16. XI. vorgenommene Beleuchtung folgenden Versuche.

g) Es ist die Tatsache zu erwähnen, daß bei einem Ladungsversuch geringere Werte der Stromstärke auch dann erhalten werden, wenn ein solcher Versuch bereits vorangegangen war und die darauf folgende Entladung nur kurze Zeit, einige Minuten, statt längere Zeit, etwa mehrere Stunden, gedauert hatte: wenn, wie wir uns der Kürze halber ausdrücken, die Platte noch nicht polarisationsfrei geworden war. Um den Einfluß einer solchen Polarisation zu erfahren, wurden auch jetzt mit der Ag-belegten Platte einige Versuche gemacht, deren Ergebnisse unter dem 19., bzw. 26. XII. verzeichnet sind. Bei allen dauerte die Ladung die normale Zeit von 6 Minuten, die Entladung aber statt wie gewöhnlich 24 Stunden nur einige Minuten, deren Anzahl in der Tab. V angegeben ist; außerdem geben die unter  $V=0$  angeführten Zahlen die vor jedem Ladungsversuch gefundenen Werte des Polarisations- plus Selbstaufladungsstromes an. Verwendet man diese nach dem Superpositionsgesetz, so ergeben sich die eingeklammerten Zahlen der Kolumne 11. Berücksichtigt man, daß diese Werte sicher etwas zu groß ausgefallen sein müssen<sup>1)</sup>, um die vorhandene L.-F. ausdrücken zu können, so erkennt man, daß sie recht gut in die Wertreihe der zeitlich benachbarten Ladungsversuche passen, daß somit bei richtiger Verwertung der kurz vor einem Ladungsversuch beobachteten Polarisation für die L.-F. ein mit den Ergebnissen von Versuchen mit längerer Entladungsdauer übereinstimmender Wert erhalten werden kann, wenn

---

1) Die Polarisation ist nämlich etwas zu hoch angerechnet, weil sie mit der Zeit abnimmt.

auch die Ladungsversuche so bald aufeinander folgten, daß in der Zwischenzeit die Polarisation durch Erdung nicht verschwinden konnte. Dieses Ergebnis gilt zunächst für die gewählte kurze Ladungszeit von, wie erwähnt, 6 Minuten, ob es auch für eine wesentlich längere Ladungszeit von Stunden oder Tagen gültig ist, ist zunächst noch nicht erwiesen. Aus den beiden Versuchen vom 27. XII., bzw. vom 25. II., denen Ladungsdauern von  $18\frac{1}{2}$  Stunden, bzw. 34 Tagen, freilich auch keine sehr kurz dauernden Entladungen vorangingen, ergibt sich aber, daß auch in solchen Fällen kein besonders verkleinerter Wert der L.-F. auftritt.

Nach diesen Bemerkungen versuchen wir, die Frage zu beantworten, ob die langzeitige Abnahme der L.-F. etwa einer im Laufe der Zeit anwachsenden Polarisation zugeschrieben werden kann.

Um den in der Tabelle aufgeführten Tatsachen und den mit verschiedenen anderen Platten gefundenen mit Hilfe der Annahme einer wachsenden Polarisation gerecht werden zu können, müßte man sich zunächst vorstellen, daß eine Zeit von 24 Stunden bzw. von etwa 5 Tagen (Versuch 1. XI. bzw. 6. XI), die bei verdunkelter, geerdeter Platte zwischen je zwei Ladungsversuchen verging, nicht genügte, um die von einem nur 6 Minuten dauernden Ladungsstrom im Dunkeln erworbene Polarisation ganz zum Verschwinden zu bringen, so daß jedesmal jeder Versuch eine etwas vergrößerte Polarisation hinterlassen hätte. Erst eine mehrere Monate dauernde Pause bewirke eine so merkliche Verminderung der Polarisation, daß ein folgender Ladungsversuch davon nichts mehr erkennen läßt. Gegen diese Vorstellung, daß die von einer kurzen Ladungsdauer herrührende Polarisation sich unter Umständen so lange erhalten haben könnte, läßt sich an und für sich nichts einwenden; denn z. B. ist an einer X-bestrahlten, kurze Zeit bei Belichtung geladenen Platte die so erworbene Polarisation noch nach vielen Monaten durch eine mit Belichtung vorgenommene Probe sehr deutlich nachweisbar, wenn die Platte in dieser Zwischenzeit im Dunkeln geerdet war. Es bestehen aber andere gewichtigere Einwände: wenn die Abnahme der Stromstärke von 21,6 Skalenteilen (20. X.) auf 13,9 Skalenteile (18. XII.) auf zurückgebliebener Polarisation beruhen würde, so sollte man meinen, daß nach

dem Superpositionsgesetz die elektromotorische Kraft dieser Polarisation im Betrage von  $\frac{21,6 - 13,9}{21,6} \cdot 1580 =$  etwa 540 Volt sich bei dem dem letztgenannten Ladungsversuch unmittelbar vorangegangenen mit geerdeter Platte angestellten Vorversuch („ $V = 0$ “) durch einen entsprechenden Ausschlag hätte bemerkbar machen müssen. Tatsächlich war aber von einer solchen Äußerung der Polarisation nichts zu bemerken, wie aus der Tab. V, wo in der Kolumne 2 0,0 Skalenteile in 5 Minuten verzeichnet sind, ersichtlich ist. Ebenso läßt der Anfang der Erdung der Platte, also unmittelbar nach dem vorgegangenen Ladungsversuch — in der Tabelle nicht aufgeführt — nichts von einer allmählich angehäuften, sondern nur die Polarisation erkennen, die die Platte bei jenem Ladungsversuch erworben hatte. Auch der Versuch vom 15. VII. läßt sowohl in seinem  $V = 0$  als in den bei der Entladung erhaltenen Werten nichts davon erkennen, daß die seit dem 9. VII. eingetretene bedeutende Verminderung der Stromstärken etwa auf Polarisation beruhe. Diese Ergebnisse sprechen somit sehr gegen unsere Annahme einer allmählich wachsenden Polarisation als Ursache der langzeitigen Abnahme der L.-F.<sup>1)</sup>)

Ich habe aber doch geglaubt, die Frage noch etwas weiter verfolgen zu müssen und versuchte zunächst, ob etwa ein häufiger, rascher Wechsel von Ladung und Entladung — unsere Versuchsreihe besteht ja auch aus Versuchen mit solchem, aber in langen Zeiträumen unternommenem Wechsel — eine Beschleunigung der langzeitigen Abnahme der L.-F. zur Folge habe. In der Tabelle S. 48 u. 49 ist unter dem 7. I. das Resultat dieser Probe wiedergegeben. Die zweite, an diesem Tage angestellte Bestimmung der L.-F. geschah, nachdem unmittelbar

---

1) Die verhältnismäßig geringe Größe der Stromstärke, die am 16. I. beobachtet wurde, als die Platte zum erstenmal mit der Akkumulatorenladung versehen war, wo man also eine polarisationsfreie Platte als vorhanden annehmen müßte und deshalb einen größeren Wert der Stromstärke erwarten würde, ließe sich zur Not noch durch die nicht unwahrscheinliche Annahme erklären, daß die Platte bei der einem Jahr vorher vorgenommenen Kathodenversilberung eine sehr kräftige Polarisation erworben hätte. Die Richtung der dabei in der Platte erzeugten Kraftlinien war wenigstens so, daß eine Polarisation von erforderlichem Vorzeichen hätte entstehen können.

vorher die Platte in gleichbleibenden Intervallen von je 5 oder auch von je 1 Minute etwa 20mal abwechselnd mit 1530 Volt geladen und zur Erde abgeleitet worden war. Die in den drei Versuchsperioden erhaltenen Stromstärken sind ersichtlich wesentlich kleiner, als die bei dem am gleichen Tage vor dem erwähnten Wechseln gefundenen, und aus den beiden letzten Kolumnen der Tabelle ergibt sich, daß die Abnahme dieser Werte während des Versuchs langsamer war, als bei jenem vorhergegangenen Versuch. Dafür vermindert sich aber auch die bei der gleich folgenden Entladung auftretende Stromstärke entsprechend langsamer wie die eingeklammerten Zahlen und deren Vergleich mit denen eines auf S. 38 ausführlich mitgeteilten, nach einer Erdung von 20 Stunden, also in normaler Weise angestellten Versuch, zeigen. Berücksichtigt man das Superpositionsgesetz, und zwar bei allen — nicht in der Tabelle ausführlich mitgeteilten — Werten, so findet man, daß jedenfalls eine merkliche Veränderung der L.-F. durch den häufigen Ladungswechsel nicht eingetreten ist. Auch die am folgenden Tage (8. I.) in normaler Weise angestellten Ladungsversuche zeigten davon nichts, so daß unsere Frage eine negative Beantwortung erhalten hat. Ebensowenig haben Versuche mit sehr langer, Stunden bzw. tagelanger Ladungsdauer ein besonderes, die Polarisationshypothese stützendes Ergebnis geliefert. Vgl. Tab. V unter 27. XII., 25. II. und 21.—25. II.

Aus all diesen Versuchen darf man natürlich nicht etwa schließen, daß die Vorgänge bei der Ladung bzw. Entladung überhaupt nicht die Ursache der langzeitigen Abnahme der L.-F. sein können; sie zeigen nur, daß diese Vorgänge keinen oder nur wenig Einfluß haben, nachdem die Platte während einer langen Versuchszeit häufig in der beschriebenen Weise zu L.-F.-Bestimmungen verwendet worden war.

Es entstand weiter bei mir die Vermutung, daß die langzeitige Abnahme der L.-F. vielleicht doch noch einer wachsenden Polarisation zuzuschreiben sei, einer Polarisation natürlich, die sich in der Weise „versteckt“ haben müßte, daß sie sich wohl bei einer Ladung, nicht aber, wie oben nachgewiesen, bei einer Erdung der Platte zur Geltung bringen konnte. Ich kam auf diesen Gedanken, durch die zuerst von Hopkinson bei Glas beobachtete und im hiesigen Institut bei anderer

Gelegenheit bestätigte Tatsache, daß eine Ladung sich über eine folgende von entgegengesetztem Vorzeichen hinaus noch bei einer folgenden Entladung bemerkbar machen kann. Es kann sich demnach unter Umständen eine im Dielektrikum erzeugte elektromotorische Kraft der Polarisation eine Zeitlang gewissermaßen verborgen halten. Auch bei blauem NaCl fand ich, wenn belichtet, dieselbe Erscheinung wieder (vgl. unten S. 163), und ich glaubte sogar eine direkte Bestätigung dieser Auffassung von der Ursache der langzeitigen Abnahme der L.-F. gefunden zu haben, als sich bei einem Versuch mit X-bestrahltem NaCl ergab, daß dasselbe zwar im Dunkeln keine Anzeichen von Polarisation, wohl aber bei darauffolgender Beleuchtung, und zwar in sehr kräftiger Weise lieferte.<sup>1)</sup> Bei näherer Überlegung aber bemerkte ich, daß diese zuletzt genannte Elektrometerablenkung doch nicht so groß war, daß auch bei der im Dunkeln stark verringerten L.-F. ein Ausschlag hätte wahrgenommen werden können. Eine einigermaßen annehmbare Begründung für die oben erwähnte Vermutung hat sich also nicht finden lassen.

h) Ich habe mir zur Erklärung der langzeitigen Abnahme der L.-F. und der nach längerer Ruhepause beobachteten Vermehrung der gesunkenen L.-F. die Frage vorgelegt, ob es mit den Versuchsergebnissen vereinbar sei, anzunehmen, daß eine Ladung auch im Steinsalz eine Art „Reinigung“ bewirke, wie sie zuerst H. Hertz bei Benzin beobachtet hat, die sich ebenfalls in einer während der Ladung stattfindenden Abnahme der L.-F. zeigte, und die sich durch Umrühren des Benzins wieder rückgängig machen ließ. Prüfen wir die vorliegenden Versuchsergebnisse auf die Möglichkeit einer solchen Annahme.

Nach den beiden Ruhepausen vom 16. I. bis 9. VIII. bzw. vom 29. VII. bis 20. X., in denen sich die Platte, nicht von ihrer Glyzerinlösung befreit, meistens im Dunkeln im Exsikkator befand, müßte nach unserer Annahme die durch die vorhergegangenen Ladungen „gereinigte“ Platte wieder „verunreinigt“ worden sein. An eine Reinigung der Platte auf der ganzen Strombahn ist in Anbetracht der kurzen Gesamtdauer der Ladung wohl nicht zu denken; es würde aber auch

1) Es sei hier nebenbei erwähnt, daß eine vorhandene Polarisation eine erneute X-Bestrahlung überdauern kann.

wohl genügt haben, wenn durch die Ladung nur ein kleiner Teil der dem natürlichen Steinsalz beigemengten Stoffe in der Nähe der Elektroden eine größere bzw. geringere Anhäufung erfahren oder sich an den Elektroden abgeschieden hätte. Die nach der Ladung eintretende Verunreinigung mußte als ein vielleicht von elektrischen Kräften unterstützter Diffusionsvorgang aufgefaßt werden, der im Vergleich zu dem Reinigungsprozeß ein äußerst langsamer sein müßte, so daß nach jedem Ladungsversuch, namentlich im Anfang der langen Versuchsreihe, immer eine etwas mehr gereinigte Platte zurückbliebe. In dieser Weise ließen sich m. E. wenigstens die beiden genannten Haupterscheinungen wohl erklären. Mehr Schwierigkeit macht die Frage, wie die Platte auch nach Anbringen der Elektroden von außen her ihre Verunreinigung erhalten haben könnte. Die Silberbelegung dürfte die Platte gegen eine solche Aufnahme schützen, die Salz-Glyzerinlösung dagegen erscheint dazu besser geeignet; man könnte denken, daß etwas Flüssigkeit, etwa Wasser, in das NaCl hineindiffundiere und dieses „verunreinige“. Die „Reinigung“ würde in einem Hinausschaffen des Wassers durch elektrische Kräfte bestehen: dann aber müßte eine Ladung mit Elektrizität von entgegengesetzter Art keine Reinigung, sondern eher eine größere Verunreinigung erzeugen, was jedoch mit den Beobachtungen nicht vereinbar ist. Um diesem Widerspruch zu entgehen, müßte weiter angenommen werden, daß die Reinigung durch Vernichten (Zersetzung, Verdampfung) und nicht durch Transport der eingedrungenen Flüssigkeit zustande käme, und die Verunreinigung durch ein nur von Molekularkräften bewirktes Hineinwandern, und zwar in feine, nicht sichtbare Kanäle, auf deren Vorhandensein man in der Tat schon durch anderweitige Beobachtungen, wie z. B. durch die Anordnung von submikroskopischen Na-Teilchen in gefärbtem Steinsalz, hingewiesen wird.

Es fragt sich nun, inwieweit bei der vorliegenden Arbeit wahrgenommene Einzelheiten im Verhalten der Platte mit unserer Annahme in Einklang zu bringen sind. Es ist vielleicht aufgefallen, daß die zu allererst (16. I.) mit der „neuen“ Platte erhaltenen Stromstärken nicht so groß sind, wie man es von Versuchen, die zum erstenmal mit der Platte gemacht wurden, erwarten müßte: Folgende Erklärung erscheint möglich.

Die Versilberung der Platte fand ein Jahr vor jenen Versuchen statt<sup>1)</sup>; dabei war die Platte längere Zeit starken elektrischen Kräften, die in der Richtung ihrer Dicke dimension wirkten, ausgesetzt, so daß eine so ergiebige „Reinigung“ stattgefunden haben könnte, daß davon nach einem Jahr noch ein beträchtlicher Teil übrig geblieben wäre und die Platte infolgedessen eine geringe L.-F. besäße. Die bedeutende, vielleicht nur scheinbar sprungweise auftretende Änderung der L.-F. vom 9. VII. auf den 15. VII. könnte wohl erklärt werden durch eine besonders kräftige Reinigung, die die Platte infolge der inzwischen vorgenommenen langen, ununterbrochenen, zweitägigen Ladung mit etwa 1500 Volt erhalten hatte; eine Reinigung, die so gründlich hätte sein müssen, daß sie in den auf die Ladung folgenden 4 Tagen mit Erdung nicht rückgängig gemacht werden konnte. Es wäre dann aber nicht recht verständlich, weshalb in dieser langen Ladungszeit die Reinigung nicht so weitgehend gewesen sein sollte, um nicht am 15. VII. einen so geringen Wert für die Stromstärke zu liefern, wie er am 12. XI, also nach nur  $17 \cdot 6 = 102$  Minuten Gesamtladung (Anzahl der Versuche  $\times$  Dauer je einer Ladung) erhalten wurde, als die am 20. X. beobachtete Stromstärke von 21,6 auf 18,3 Skalenteile nach unserer Annahme ebenfalls infolge einer Reinigung gesunken war. — Wenn eine während eines Ladungsversuchs eintretende Reinigung besonders ergiebig am Anfang einer längeren Versuchsreihe sein soll — weil, wie aus der Kurve 4 von Fig. 2 ersichtlich ist, die langzeitige Abnahme dann am stärksten ist —, so müßte die während eines Versuchs vorhandene, verhältnismäßige Abnahme der Stromstärke zu dieser Anfangszeit bedeutender sein als im späteren Verlauf der Versuchsreihe. Aus den Kolumnen 15 und 16 der Tab. V ist zu erkennen, daß diese Folgerung in den beiden Versuchsreihen (der am 9. VII. bzw. am 20. X. angefangenen), insbesondere in der letzteren wirklich beobachtet wurde. — Nicht gleich befriedigend fällt dagegen folgende Überlegung aus. Nach unserer Vorstellung müßte die Platte, wieder hauptsächlich am Anfang einer Versuchsreihe, sofort nach einem Ladungsversuch, wesentlich reiner

1) Die mit ihrem aufgekitteten, aber nicht mit Glyzerin gefülltem Trögchen versehene Platte befand sich während dieses Jahres im Exsikator und meistens im Dunkeln.

sein, als sie es vor dem Versuch war. Dieser Unterschied müßte sich aber vor allem in dem auf den Ladungsversuch gleich folgenden Entladungsversuch durch ein Nichteintreffen des Superpositionsgesetzes zeigen. Für das Vorhandensein einer solchen Abweichung habe ich aber in den Beobachtungen keine sichere Bestätigung finden können. — Manche Tatsachen scheinen demnach unsere Annahme wohl zu bestätigen, andere aber lassen sich mit ihr nicht gut in Einklang bringen.

i) Zu ähnlichen Überlegungen führt die Annahme von einem Entstehen und Verschwinden einer dünnen, schlecht leitenden Schicht an der Grenze des NaCl und der Salz-Glyzerinlösung. Solche Schichten können nach Maxwell und nach Versuchen von Arons die „Rückstandsbildung“ stark beeinflussen, und zwar in einer Weise, die im großen und ganzen mit den Wahrnehmungen über die langzeitige Abnahme wohl vereinbar wäre. Eine derartige Schicht müßte am Anfang einer Versuchsreihe vorhanden gewesen und dann infolge von Ladung und Entladung mehr und mehr verschwunden sein und sich erst wieder neu gebildet bzw. verstärkt haben, während die Platte unbeansprucht blieb. Über die Fragen, woraus diese Schichten in unserem Falle bestehen sollen und wie man sich ihr Verschwinden beim Versuch zu denken habe, kann ich keine Auskunft geben; dagegen sei das Ergebnis von Versuchen angeführt, die mehrfach unternommen wurden, um einen bestimmten Anhaltspunkt für die Beurteilung der Frage, ob die obige Annahme tatsächlich richtig ist, zu gewinnen. Zum Teil wurden diese Versuche mit der „älteren“ Platte angestellt — sie sind auch bereits oben erwähnt — zum Teil mit der „neueren“ Platte (nach den in der Tab. V aufgeführten Versuchen). Es wurde wiederholt nur die Glyzerinlösung durch eine neue ersetzt, oder die Platte abgeschliffen und wieder mit Glyzerinlösung versehen, oder eine gründliche Säuberung der Plattenoberfläche mittels Chloroform vorgenommen entweder zu einer Zeit, wo die L.-F. schon beträchtlich abgenommen hatte, oder auch schon früher. In keinem dieser Fälle brachte eine dieser Operationen bei einem gleich folgenden Ladungsversuch eine Verminderung der Stromstärke oder eine Vermehrung auf den am Anfang der Versuchsreihe gefundenen großen Wert. Meistens war keine Wirkung festzustellen, und nur ein paarmal trat, wenn die Stromstärke stark

gefallen war, eine vorübergehende geringe Vermehrung ein. Diese Probeversuche haben somit weder für noch gegen die Richtigkeit der Annahme einen Beweis geliefert. (Vgl. S. 76.)

Einen nicht leicht zu beseitigenden Einwand gegen die unter h) mitgeteilten Vorstellungen liefern die auf S. 35 erwähnten Ladungsversuche mit vorher stark erhitztem Steinsalz. Dort ist u. a. angegeben, daß sowohl die stark erhitze, wie die nicht erhitze Platte, die beide durch Spalten aus *einem* Stück NaCl erhalten wurden, bei den *sehr bald* auf die Erhitzung folgenden Ladungsversuchen quantitativ gleiche Resultate und außerdem auch die Erscheinung der langzeitigen Abnahme lieferten. Nach den obigen Überlegungen hätte die vorher erhitze und bald nach dem Erhitzen untersuchte Platte wohl keinen so großen Anfangswert und keine langzeitige Abnahme liefern dürfen, wenn die „Verunreinigung“ in dem Vorhandensein eines leicht verdampfbaren Stoffes bestanden hätte. —

Übersicht man die Versuche, die verschiedenen Vermutungen über die Ursache der so häufig beobachteten langzeitigen Abnahme der L.-F. mit den Tatsachen in Einklang zu bringen, so wird man verstehen, daß ich nicht nicht entschließen konnte, eine dieser Vermutungen als die wahrscheinlich richtigste zu bezeichnen. Vielleicht haben einige der besprochenen Ursachen zusammengewirkt. Einer Lösung der Frage und zugleich der anderen Frage nach der Ursache der in den Versuchsergebnissen übrig gebliebenen Unstimmigkeiten hoffte ich näher kommen zu können, wenn ich wieder brauchbare Steinsalzpräparate erhalten haben würde, die dann auf *beiden* Seiten mit einer Silberbelegung versehen werden sollten, um sowohl die Verwendung von Glycerin zu umgehen, als auch um durch angelötete Platinspirälchen einwandfreiere Verbindungen mit den betreffenden Zuleitungen zu erhalten. (Vgl. den Bericht über diese Versuche auf S. 71 und folgende.)

Man wird vielleicht der Ansicht sein, daß ich auf das Suchen nach der langzeitigen Abnahme unverhältnismäßig viel Zeit verwendet und für die Mitteilung der Ergebnisse unverantwortlich viel Raum beansprucht habe. Der letzte Vorwurf wäre berechtigt, wenn sich wenigstens sicher herausgestellt hätte, daß die Erscheinung bloß eine nebенächliche ist, wie ich es lange vermutet habe und auch jetzt noch nicht als

ganz ausgeschlossen betrachte. Die Versuche haben aber einen solchen Nachweis nicht erbracht, und es blieb deshalb auch die Möglichkeit bestehen, daß die Erscheinung doch eine Folge einer unbekannten, nicht unwichtigen Eigenschaft des Materials ist, deren Erkennung nützlich gewesen wäre. Weil ich nun glaubte, ein eventuell von anderer Seite beabsichtigtes Suchen nach dieser Eigenschaft durch die Mitteilung meiner Bemühungen vielleicht erleichtern zu können, wählte ich die ausführliche Form der Darstellung. —

Ein Teil der Versuche mit der versilberten Platte galt der nochmaligen Prüfung von zwei ebenfalls schon oben behandelten, m. E. für die Auffassung des elektrischen Vorgangs im Kristall wichtigen Fragen: Ob die L.-F. des NaCl nach längerer, etwa 24stündiger Ladung einen für folgende Zeiten unverändert bleibenden Wert erreicht (Ansicht von Gauguin und von Braun) oder ob sie fortwährend noch kleiner wird; und zweitens, ob der Temperaturkoeffizient der L.-F. derselbe ist für die großen am Anfang eines Ladungsversuchs und für die kleineren später sich einstellenden Stromstärken.

Zu diesem Zwecke blieb die im Dunkeln aufgestellte Platte nach dem letzten Versuch vom 21. I. mehrere Tage unausgesetzt mit etwa 1500 Volt geladen und wurde während dieser Zeit fast täglich auf ihre L.-F. untersucht. Um verschiedene Temperaturen zu erhalten, wurde das Zimmer abwechselnd geheizt und abgekühlt. Dabei machte sich wieder das Fehlen eines Thermostaten und einer Vorrichtung, die gestattet, die Temperatur der Platte genauer als mit dem neben der Platte aufgestellten Thermometer zu messen, bemerkbar, und einige Sicherheit in dieser Beziehung konnte nur dadurch erreicht werden, daß zwischen den aufeinanderfolgenden Versuchen wieder eine längere Zeit, meist etwa 24 Stunden, eingeschaltet wurde, während der die Temperaturänderung vor sich ging und die Platte genügend Gelegenheit hatte, die allmählich konstant gewordene Temperatur ihrer Umgebung anzunehmen. Immerhin blieb in einzelnen Fällen doch noch eine gewisse Unsicherheit in dieser Beziehung bestehen, die um so empfindlicher war, als der Temperaturreinfluß auf die L.-F. recht bedeutend ist.

Eine noch größere Unsicherheit kann in die Ergebnisse hineingebracht worden sein durch das Unbekanntsein der

selbständigen Aufladungen von Elektrometer mit Platte (von dem „ $V = 0$ “ der vorhergehenden Tabellen IV bzw. V). Der Elektrometergang, d. h. die selbständige Aufladung des Elektrometers und seiner Leitung bis zur Wippe  $W_3$  läßt sich zwar immer bestimmen und wurde bei diesen Versuchen auch immer bestimmt. Was aber auch jetzt wieder eigentlich gebraucht wurde, war die Kenntnis der erstgenannten Selbstaufladung, und diese ließ sich natürlich nicht bei dauernd geladener Platte messen. Wie ich mir aus dieser Schwierigkeit so gut wie möglich geholfen habe, wird unten mitgeteilt werden. Schließlich sei noch auf den oben genannten Einfluß einer eventuellen Inkonsistenz der Akkumulatorenspannung auf die Versuchsergebnisse hingewiesen. Diesen drei Fehlerquellen ist es wohl zuzuschreiben, daß keine noch bessere Übereinstimmung in den Ergebnissen gefunden wurde; immerhin hat dieser Mangel an Übereinstimmung eine eindeutige Beantwortung der beiden gestellten Fragen nicht verhindert.

Tabelle VI.

Zeit der Beobachtung	Temperatur	Spannung	Elektrometergang	Elektrometer-aus-schläge	Differenz	Auf 18,0° und gleiche Spannung reduz. Werte d. L. F.	
						in 5 Minuten	
1 22. I. 9 <sup>h</sup> 30	16,8°	1570	0,5 Skt.	2,0 Skt.	1,50 Skt.	1,83	2,45
2 24. I. 10 <sup>h</sup> 0	21,0°	1565	0,67 "	2,85 "	2,20 "	1,33	1,72
3 24. I. 5 <sup>h</sup> 0	21,7°	1565	0,75 "	3,25 "	2,50 "	1,34	1,75
4 25. I. 11 <sup>h</sup> 0	15,6°	1560	-0,07 "	0,77 "	0,80 "	1,20	1,15
5 26. I. 11 <sup>h</sup> 0	17,0°	1560	0,20 "	1,20 "	1,00 "	1,18	1,42
6 27. I. 4 <sup>h</sup> 0	15,8°	1570	0,83 "	1,45 "	0,60 "	0,87	2,10
7 28. I. 9 <sup>h</sup> 30	20,1°	1560	0,50 "	2,00 "	1,50 "	1,05	1,41
8 29. I. 6 <sup>h</sup> 30	27,0°	1560	1,35 "	5,94 "	4,60 "	1,02	1,31
9 30. I. 10 <sup>h</sup> 30	27,8°	1560	0,80 "	5,97 "	5,15 "	0,99	1,15
10 30. I. 6 <sup>h</sup> 30	18,3°	1560	0,55 "	1,58 "	1,05 "	1,00	1,50
11 31. I. 4 <sup>h</sup> 30	16,1°	1560	0,70 "	1,28 "	0,60 "	0,83	1,76
12 1. II. 4 <sup>h</sup> 0	21,3°	1560	0,97 "	2,53 "	1,55 "	0,89	1,45
13 11. II. 10 <sup>h</sup> 0	22,7°	1550	1,5 "	3,4 "	1,9 "	0,86	1,55
14 14. II. 5 <sup>h</sup> 0	27,8°	1545	1,35 "	5,18 "	3,83 "	0,74	1,00
15 19. II. 11 <sup>h</sup> 30	29,0—29,4°	1545	0,55 "	5,33 "	4,78 "	0,70	0,88
16 20. II. 4 <sup>h</sup>	28,05°	1540	1,04 "	5,10 "	4,06 "	0,73	0,81

In der Tab. VI sind unter dem 22. I. bis 20. II die Resultate dieser Versuche eingetragen. Der erste verzeichnete Versuch

(22. I.) fand 24 Stunden nach dem Anlegen der Spannung (vgl. S. 48 u. 49) statt. Jeder Wert der L.-F. ist das Mittel aus je vier voneinander um höchstens 0,2 Skalenteile abweichenden Einzelbeobachtungen, die bei einer Beobachtungsdauer von je 5 Minuten gleich nacheinander erhalten wurden. Ebenso oft wurde mit jenen Beobachtungen abwechselnd der Elektrometergang und auch die Temperatur gemessen.

Um nun auf die eine Frage — nach dem Betrage des Temperatureinflusses auf die L.-F. — eine Antwort zu finden, wird man aus dem vorliegenden Material die Ergebnisse von zeitlich möglichst nahegelegenen, bei möglichst verschiedenen Temperaturen angestellten Versuchen miteinander zu vergleichen haben und dabei seine Wahl wegen der bestehenden Unsicherheit nicht auf Versuche bei zu niedriger Temperatur, die so kleine Werte der L.-F. lieferten, ausdehnen. Ich habe für die Berechnung des Temperaturkoeffizienten folgende Versuchspaare zugrunde gelegt: Versuch 1 und 3, Versuch 7 und 8, Versuch 9 und 10, Versuch 9 und 12 und als Gesetzmäßigkeit für die Abhängigkeit von L.-F. und Temperatur, weil sich der mit der Temperatur steigernde Einfluß der Temperatur bemerkbar mache, wieder die Beziehung  $\alpha = a c^t$  gebraucht. Die unmittelbar gefundenen Werte der L.-F. sind vor ihrer Verwertung noch auf gleiche Spannung zu reduzieren und mit einer kleinen Korrektur zu versehen, die sich auf die soeben erwähnte zeitliche Abnahme der L.-F. bezieht und für die man aus dem zu besprechenden zeitlichen Verlauf der Versuche nach einiger Überlegung den benötigten ungefähren Betrag ableiten kann. Über die Frage, wie die Selbstaufladung zu berücksichtigen sei, habe ich mich in folgender Weise entscheiden können. Ich hatte die Wahl, als Ersatz für das „ $V = 0$ “ entweder den „Elektrometergang“ zu verwenden, oder gar keine Korrektion anzubringen. Um zu erfahren, was vorteilhafter war, leitete ich zuerst aus einigen für den Elektrometergang korrigierten Versuchsergebnissen (Kolumne 7 der Tab. VI) ungefähre Werte des Temperaturkoeffizienten ab und reduzierte dann alle so korrigierten Ergebnisse der ganzen Versuchsreihe auf die gleiche Temperatur von  $18,0^\circ$ . Die so erhaltene Wertreihe (Kolumne 8 der Tab. VI) verglich ich darauf in bezug auf die Gleichmäßigkeit ihres Verlaufs mit einer Reihe,

die die auch auf 18,0° reduzierten, aber nicht für den Elektrometergang korrigierten Werte enthält (Kolumne 9 der Tab. VI); dabei stellte sich heraus, daß die erstgenannte Reihe so wesentlich vorzuziehen war, daß ich annehmen durfte, es sei besser, diese Korrektion anzubringen als nicht, und außerdem, daß der verwendete Temperaturkoeffizient der ungefähr richtige ist. Das Verfahren ist natürlich keineswegs genau, lieferte aber doch für den vorliegenden Zweck brauchbare Resultate.

Folgende Werte wurden für den Temperaturkoeffizienten erhalten:

Tabelle VIIa.

Datum	22.—24. I.	28.—29. I.	30. I.	30. I. u. 1. II.
$x \frac{dx}{dt}$	0,18	0,17	0,17	0,17

Stellt man diese nach *längerer* (eintägiger bzw. mehr tägiger) Ladungszeit erhaltenen Temperaturkoeffizienten zusammen mit dem, den wir *kurz nach Anfang* der Ladungszeit (16—331 Sekunden) bekamen — 0,08, vgl. S. 44 —, so erkennt man, daß das schon bei früheren Versuchen gefundene Ergebnis bestätigt worden ist: *Der Temperaturkoeffizient des unbestrahlten NaCl nimmt mit der Dauer der Ladung zu.* Nimmt man noch die aus der Tab. V leicht zu entnehmende Tatsache hinzu, daß die in der *allerersten* Beobachtungsperiode (1—16 Sekunden) erhaltenen Werte der Stromstärke noch weniger von der Temperatur beeinflußt sind, als die der folgenden Periode (16—331 Sekunden), so ist die Vermutung nicht von der Hand zu weisen, daß bei der Ladung — und ähnlich auch bei der Entladung — zwei gleichzeitig verlaufende Vorgänge in der Platte stattfinden, von denen der eine mit geringem Temperaturkoeffizienten im Anfang stärker hervortritt als später, während der zweite mit größerem Koeffizienten erst nach längerer Ladungszeit, besonders vorwiegend vorhanden ist. Als ersten Vorgang wird man geneigt sein, die sogenannte „Rückstandsbildung“ — nach Maxwell eine Folge von dem Vorhandensein von Stellen im Körper mit verschiedenem Verhältnis von Dielektrizitätskonstante und Leitvermögen — anzunehmen, und den zweiten Vorgang<sup>1)</sup>, dem also die größere

1) Von anderen Erfahrungen ausgehend, kamen wir schon früher zu der gleichen Vermutung.

Abhängigkeit von der Temperatur zukäme, als eine eigentliche Elektrizitätsleitung in der Platte, und zwar mit Rücksicht auf die Größe des Temperaturkoeffizienten vielleicht als eine elektrolytische Leitung, anzusehen.

Gegen diese Anschauung der Existenz zweier verschiedener Vorgänge lassen sich aus den vorliegenden Versuchen keine stichhaltigen Einwände ableiten. In der Tatsache, daß die kurz nach Anlegen der Spannung und die viel später bestimmten Temperaturkoeffizienten nicht unter genau denselben Verhältnissen gemessen wurden — indem erstere nach jedesmaliger längerer Ableitung der Platte zur Erde, während welcher Zeit die nötigen Temperaturveränderungen vorgenommen wurden, letztere dagegen bei in mer fort dauernder, längerer Ladung der Platte gemessen wurden —, kann keine Erklärung für den beträchtlichen Unterschied in beiden gefunden werden. Ebenso halte ich es auch für unwahrscheinlich, daß eine Verschiedenheit in der Geschwindigkeit der den Strom darstellenden Bewegung von Elektrizitätsträgern der gleichen Art und Herkunft zu Anfang der Ladung und später die Ursache des erwähnten großen Unterschiedes sein könnte. Vielleicht wird man noch meinen, daß die Verwendung der Werte des Elektrometerganges und nicht der im vorliegenden Falle nicht meßbaren, sonst aber, wie gesagt, geeigneteren, bei einem Vorversuch mit  $V = 0$  sich ergebenden Werte zur Korrektion der Elektrometerausschläge bei der Ladung die Ursache der Verschiedenheit der für den Temperaturkoeffizienten erhaltenen Werte sein könnte, weil im letzten Falle alle Werte etwas größer aus gefallen wären, und diese Vermehrung sich bei den nach längerer Ladungszeit erhaltenen kleinen Werten in der Berechnung des Koeffizienten natürlich mehr bemerkbar gemacht hätte, als bei den größeren der Anfangszeit. Indessen ist diese Vermutung nicht zutreffend, denn wenn man berechnet, wie groß diese Vermehrung hätte sein müssen, um für alle Zeiten den gleichen Temperaturkoeffizienten, etwa den Anfangswert (0,08) zu erhalten, so kommt man zu einem ganz unmöglichen Betrag dieser Korrektion.

Für die Beantwortung der anderen Frage von S. 66 genügt ein Blick auf die Fig. 3, die die reduzierten Werte der Stromstärken der Tab. VI in ihrer Abhängigkeit von der Ladungsdauer enthält. Man erkennt, daß die Stromstärken,

die L.-F., fortwährend, auch noch gegen das Ende der 29-tägigen Ladungsdauer abgenommen hat. Für ein Konstantwerden in dieser Zeit ist keine Andeutung vorhanden (vgl. S. 8).

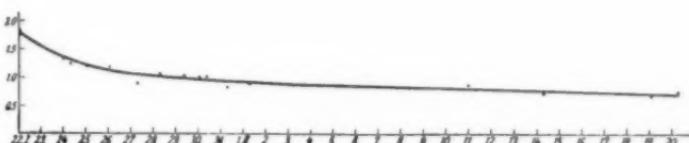


Fig. 3.

Die trotz Ersetzens der Graphitelektrode durch eine kathodisch niedergeschlagene Silberelektrode auch bei den Leistungsversuchen mit der „neuen“ lichtunempfindlichen NaCl-Platte aufgetretenen sprungweisen kleinen Änderungen der L.-F., sowie die wieder beobachtete im Laufe einer längeren Zeit wahrgenommene Abnahme der L.-F., Erscheinungen, für die keine rechte Erklärung gegeben werden konnte, veranlaßten mich, noch eine neue, auch von Steeg und Reuter bezogene, anscheinend fehlerfreie, hochpolierte Platte zu untersuchen (vgl. S. 65). Ich hatte nämlich doch wieder Verdacht bekommen gegen die Zuverlässigkeit des Kontaktes der unteren Belegung mit der Elektrometerleitung und gegen die Anwendung der Glyzerinelektrode. Dieser Kontakt wurde bisher, wie mitgeteilt, durch eine mittelst Feder angedrückte, verplatinierte Metallkappe hergestellt. Solche Kontakte mit kleiner Berührungsfläche zeigen bekanntlich, wie z. B. beim Kohärer in seiner ursprünglichen Form, eigentümliche Eigenschaften in bezug auf ihre Güte, insbesondere, wenn sie vor einem Versuch von stärkeren Strömen durchflossen werden, und letzteres war ja bei den vorliegenden Versuchen jedesmal, wenn die hohe Ladung an die Platte angelegt oder von ihr entfernt wurde, der Fall.

Die neue senkrecht zur Würfelfläche geschliffene Platte wurde wieder kathodisch versilbert und in gleicher Weise wie die vorhergehende mit Elektrode und Schutzzring versehen. An beide löte ich (mit Woodmetall) aus dem angegebenen Grunde Spirälchen aus dünnem Platindraht, die

ihrerseits mit der Erdleitung, bzw. mit der Eektrometerleitung verlötet wurden. Auch die obere Elektrode bestand aus kathodisch niedergeschlagenem Silber, so daß das Glaströßchen mit der Salzglyzerinelektrode im Wegfall kam, und der Kontakt ebenfalls durch Anlöten an die Akkumulatorenleitung hergestellt war. Alle Kontakte in der Leitung konnten demnach jetzt als unverdächtig gelten. Die Dimensionen waren folgende: Länge und Breite der Platte 3,4 cm, Dicke 0,270 cm, Durchmesser der oberen kreisförmigen Belegung 2,9 cm; die untere quadratische Fläche war ganz, mit Ausnahme eines Ringes von 1,68 cm äußerem und 1,65 cm innerem Durchmesser belegt. Der schmale Isolierring funktionierte wieder in dem mit  $H_2SO_4$  getrockneten Kästchen tadellos. Eine Bestimmung der durch Anlegen von 4 Volt an die obere Belegung auf der unteren Belegung influenzierten Elektrizitätsmenge gab durchaus normale Werte. Für die Aufstellung der Platte in ihrem Kästchen wurde eine etwas abgeänderte Einrichtung gewählt, deren Beschreibung wohl unterbleiben kann; nur muß mit Rücksicht auf folgendes noch erwähnt werden, daß diesmal, im Gegensatz zu früher, der äußere, nicht versilberte Rand der Platte von einem ziemlich dicht anschließenden, zur Erde abgeleiteten Metallrahmen umgeben war. Die Platte blieb nach ihrer Vorbereitung etwa 14 Tage am Tageslicht im Exsikkator liegen, wurde dann in ihr verdunkeltes Kästchen gesetzt und zur Erde abgeleitet; mit dem Ladungsversuch wurde etwa 10 Tage später angefangen.

Um einen Vergleich der mit dieser Platte, der „neuesten“, zu erhaltenden L.-F. mit der bei der vorhergehenden „neuen“ Platte gewonnenen zu bekommen, wurde auch die letztere, mitsamt ihrer Fassung unverändert aufbewahrte Platte in ein zweites Kästchen aufgestellt. Sie hatte seit ihrer letzten Prüfung größtenteils im Dunkeln im Exsikkator etwa  $3\frac{1}{2}$  Monate gelegen. Um auch bei ihr einen etwas mehr zuverlässigeren Kontakt mit der Elektrometerleitung zu erhalten, wurde zwischen der unteren Plattenbelegung und der federnd angedrückten, verplatinierten Metallkappe ein faltiges Stückchen dünnster Platinfolie gelegt.

Es sei zunächst angegeben, wie diese letztere Platte sich bei ihrer erneuten Prüfung im Dunkeln verhielt.

Tabelle VII.

Datum	$t$	Reduzierte Elektrometer-Ausschläge			$\Sigma''$
		ohne   mit	Berücksichtigung der Temperatur		
		1—16   16—121   151—331	Sek.   Sek.   Sek.		
20. VII.	18,3°	15,8	13,1	7,0	20,1
21. VII.	18,2°	15,4	13,2	7,0	20,2
21. VII.	18,3°	14,7	13,2	7,8	21,0
25. VII.	17,1°	11,5	12,5	7,8	20,3
26. VII.	17,3°	11,1	12,4	8,25	20,6
26. VII.	18,2°	10,7	11,6	7,8	19,4
28. VII.	18,6°	10,0	10,35	7,6	17,9
29. VII.	17,6°	9,7	10,3	8,2	18,5
30. VII.	19,4°	8,7	9,4	7,4	16,8

Die 10 tägige Reihe von Versuchen mit der beschriebenen Anordnung lieferte im allgemeinen dasselbe Bild wie die oben ausführlich besprochene. Es zeigt sich trotz der auch jetzt aufgetretenen Unregelmäßigkeiten sehr deutlich wieder eine im Laufe der Zeit stattfindende Abnahme der reduzierten Stromstärken, und zwar bei der ersten Periode am auffallendsten. Die Werte der dritten Periode weisen keine solchen Veränderungen auf.<sup>1)</sup> Auch die Wahrnehmung, daß die gleich nach einer längeren Ruhepause der Platte erhaltenen Werte wesentlich größer sind, als die vor dieser Pause gefundenen — als hätte sich die Platte in der Pause erholt — entspricht dem, was auch die früheren Versuche ergeben hatten. Die Platte verhielt sich also jetzt wieder so ziemlich gleich wie zu Anfang (20. X. bis 30. X. Tab. V) der mitgeteilten langen Versuchsreihe, mit der etwa  $\frac{3}{4}$  Jahre vorher angefangen wurde; die kleine Veränderung an dem Platinkontakt hatte an dem Verhalten der Platte nichts geändert. Da das Superpositionsgesetz nach Ableitung zur Erde immer in befriedigender Weise für die ersten Werte der Stromstärke von jedem Versuch zutraf, kann die Ursache dieser Erscheinungen auch diesmal keiner Inkonstanz der Ladebatterie zugeschrieben werden. Es gewann deshalb wieder der Gedanke die Oberhand, daß die Ursache

1) Die Werte der ersten Versuchsperiode sind in der Tab. VII auch jetzt nicht auf 18,0° reduziert, weil ihr Temperaturkoeffizient nicht bestimmt wurde und jedenfalls verhältnismäßig klein ist. Die Nichtberücksichtigung der geringen Temperaturverschiedenheiten beeinflußt die aus den Versuchen abgeleiteten Folgerungen nicht.

der langzeitigen Abnahme der L.-F. in zeitlichen Veränderungen der Beschaffenheit der Belegungen, und zwar dort, wo die Elektrizitätsleitung zwischen der Belegung und dem schlecht-leitenden NaCl vermittelt wird, zu suchen sei. Der Vollständigkeit halber sei noch mitgeteilt, daß die Silberbelegung an der Stelle, wo die Elektrometerleitung anlag, ein klein wenig gelitten hatte.

An diese Versuchsreihe schloß sich ein dreitägiger Versuch mit Dauerladung an, wobei sich ergab, daß die L.-F. sich allmählich dem Werte näherte, der auch bei der zuerst besprochenen Platte (der „älteren“) gefunden wurde, was sich übrigens auch schon aus der Tab. VII entnehmen läßt.

Von dem gleichzeitigen Verhalten der „neuesten“ — auf beiden Seiten versilberten und mit angelöteten Elektroden versehenen — Platte gibt der erste Teil (20.—30. VII.) der Tab. VIII eine Anschaugung.

Tabelle VIII.

Datum	<i>t</i>	Reduzierte Elektrometerrausschläge			$\Sigma''$	
		ohne   mit	Berücksichtigung der Temperatur			
		1—16   16—121   151—331	Sek.   Sek.   Sek.			
20. VII.	18,5°	1,1	3,26	3,15	6,4	
21. VII.	18,3°	1,1	3,19	3,00	6,2	
21. VII.	18,2°	1,1	2,46	2,46	4,9	
24. VII.	17,6°	1,2	2,7	2,3	5,0	
25. VII.	17,5°	1,0	2,5	2,6	5,1	
26. VII.	17,2°	0,9	2,8	2,6	5,4	
26. VII.	18,0°	0,8	2,8	2,4	5,2	
28. VII.	18,4°	0,7	2,4	2,3	4,7	
29. VII.	17,7°	0,9	2,5	1,7	4,2	
30. VII.	19,1°	0,6	1,86	1,41	3,3	
7. VIII.	19,4°	4,7	5,34	3,44	8,8	
9. VIII.	20,3°	3,3	4,75	2,95	7,7	
11. VIII.	21,2°	4,3	3,90	2,67	6,6	
12. VIII.	19,7°	3,9	4,76	2,88	7,6	
14. VIII.	23,8°	4,4	10,65	13,77	24,4*	
15. VIII.	22,4°	4,3	4,10	2,38	6,5	
15. VIII.	24,0°	4,4	3,28	2,07	5,3	
16. VIII.	20,4°	2,8 ?	4,29 ?	2,59	6,9 ?	
17. VIII.	22,0°	3,9	3,68	2,24	5,9	
18. VIII.	20,1°	4,2	3,27	1,76	5,0	
18. VIII.	22,2°	4,3	3,48	1,92	5,4	
19. VIII.	21,6°	3,9	3,44	1,95	5,4	

\* Nachwirkung einer Lampenbeleuchtung.

Die Tabelle zeigt wieder das Auftreten einer „langzeitigen Abnahme der L.-F.“; ich kann aber nicht mit voller Sicherheit schließen, daß die „neueste“ Platte sich in dieser Beziehung so verhält, wie die anderen, weil in diesem Falle die Abnahme möglicherweise eine Folge sein könnte von der Beleuchtung, der die Platte bei und nach ihrer Aktivierung durch die Kathodenbestrahlung ausgesetzt war, d. h. von einer „Nachwirkung“, die weiter unten noch besprochen werden soll, und von der wir in der Tabelle unter dem 14. VIII. ein gutes Beispiel finden. Was aber in der Tabelle am meisten auffällt, und was auch zunächst das Wichtigste ist, ist die Kleinheit der für die L.-F. gefundenen Werte: Keine bisher untersuchte Platte, weder die „alte“ noch die „neuere“ noch irgendeine andere hat so kleine Stromstärken geliefert. Verhältnismäßig am stärksten wurden die in der ersten Versuchsperiode 1 bis 16 Sekunden erhaltenen Werte von dieser Verkleinerung betroffen. Auch der zeitliche Verlauf der Stromstärke während eines Versuchs — der Charakter der einzelnen Versuche — ist ein anderer als bei der „neuen“ Platte. Das Verlöten der Kontakte an der Platte, das diese Verbindungen nur verbessern konnte, kann natürlich nicht die Ursache der Verkleinerung sein; nur Materialverschiedenheiten der Platten, sowie das Ersetzen der Glyzerin-Salzelektrode durch eine Ag-Elektrode können dafür in Betracht kommen. Im letzteren Falle müßte eine Flüssigkeitselektrode sich für eine Maxwell-sche Rückstandsbildung mehr geeignet erwiesen haben, als eine durch Kathodenbestäubung hergestellte Ag-Schicht; die erwähnte stärkere Verkleinerung der in der ersten Versuchsperiode beobachteten Elektrometerausschläge stünde mit dieser Ansicht in Einklang.

Um zu erfahren, ob das Verhalten der beiden genannten Belegungen in bezug auf Rückstandsbildung wirklich so verschieden sein kann, wurde<sup>1)</sup> die obere Ag-Belegung durch trockenes Abreiben entfernt und eine Glyzerinelektrode von

---

1) Die Platte war vor den im Folgenden besprochenen Versuchen noch einer dreitägigen Dauerladung ausgesetzt; dabei lieferte sie noch immer etwas kleinere Stromstärken als die gleichzeitig untersuchte „neue“ Platte, was dafür spricht, daß zwischen den beiden Platten auch eine Materialverschiedenheit besteht.

gleicher Größe angebracht. Die untere Elektrode wurde der Einfachheit halber wieder mittels Druckkontakt mit der Elektrometerleitung verbunden. Die Platte blieb dann, um die Nachwirkung der zu diesen Operationen nötigen, möglichst schwachen Beleuchtung zum größten Teil verschwinden zu lassen, 4 Tage geerdet in ihrem verdunkelten Kästchen liegen.

Vergleicht man nun die in der folgenden Zeit vom 7. VIII. bis 19. VIII. (Tab. VIII) erhaltenen Werte mit den früheren, so erkennt man sofort, wie ganz der Vorstellung einer vermehrten Rückstandsbildung entsprechend, die Stromstärken, und namentlich die der ersten Versuchsperiode nach der Verwendung der Glyzerinelektrode größer geworden sind. Da nun die mit der unteren Kontaktstelle vorgenommene Änderung höchstens ihre Verschlechterung und deshalb keine Vergrößerung der Stromstärke zur Folge gehabt haben konnte, und da außerdem diese Vergrößerung aus verschiedenen triftigen Gründen sicher nicht etwa einer „Nachwirkung“ der vorangegangenen Beleuchtung zugeschrieben werden kann, so muß aus allen mit der „neuesten“ Platte vorgenommenen Versuchen in der Tat geschlossen werden, daß eine *Glyzerin-Salzelektrode eine wesentlich größere Rückstandsbildung zur Folge hat als eine Ag-Belegung.*<sup>1)</sup> Wie man sich diesen mir unerwarteten Einfluß der Flüssigkeitselektrode zu deuten hat, ist schwer zu sagen, wie schon auf S. 64 bemerkt wurde. Es scheint mir aber nunmehr doch etwas wahrscheinlicher geworden zu sein, daß auch die bisher rätselhafte Erscheinung der „langzeitigen Abnahme der L.-F.“ mit dem beobachteten Verhalten der Glyzerin-elektrode zusammenhängt.

Um über diese Frage vielleicht etwas Näheres zu erfahren, beabsichtigte ich, die Platte noch zu weiteren Versuchen zu verwenden; sie wurde zum Teil neu versilbert; sie zeigte aber dann nachher ein so verändertes, bei keiner anderen Platte wahrgenommenes Verhalten, so z. B. unter Umständen Ströme von falscher Richtung, daß ich die Platte nicht zu dem angewandten Zwecke verwenden konnte. Nach einer ziemlich langwierigen Prüfung gelangte ich zu der Ansicht, daß durch die neue Versilberung in der Platte feine Sprünge entstanden

---

1) Bei der folgenden Untersuchung von X-bestrahltem Material spielt diese Eigenschaft der Glyzerinelektrode keine störende Rolle.

waren; über diesen Teil der Arbeit brauche ich wohl kaum zu berichten. Weitere Versuche mit neuen Platten nach der angegebenen Richtung unternahm ich nicht und begnügte mich mit der vorläufigen Auskunft, die die letzte Platte in einer Hauptfrage liefert hat.

Bisher hatten die verschiedenen Platten, deren L.-F. während einer längeren Versuchsreihe deutlich gesunken war, während der folgenden Ruhepause im Exsikkator gelegen; regelmäßig war bei einer sich daran anschließenden Prüfung die L.-F. vergrößert erschienen. Die gemachten, im Obigen mitgeteilten Erfahrungen gaben Veranlassung zu der Frage, ob diese Vergrößerung auch eingetreten wäre, wenn die Platte nach dem letzten Entladungsversuch in ihrem Kästchen geblieben wäre. Beide Fälle unterscheiden sich nämlich dadurch, daß die Platte im ersten Falle mit isolierten, im zweiten Falle dagegen mit geerdeten, untereinander verbundenen Belegungen ihre Ruhezeit zugebracht hätte. Ich ließ deshalb die „neue“ Platte nach dem letzten mit ihr vorgenommenen Ladungs-Entladungsversuch (vgl. Fußnote S. 75) mehrere Monate in ihrem verdunkelten Kästchen mit beiden Belegungen zur Erde abgeleitet liegen und machte darauf einige Ladungs- und Entladungsversuche, deren Ergebnisse in der folgenden Tabelle enthalten sind.

Tabelle IX.

Datum	<i>t</i>	Reduzierte Elektrometerausschläge			$\Sigma''$
		ohne   mit	Berücksichtigung der Temperatur		
		1—16 Sek.	16—121 Sek.	151—331 Sek.	
26. III.	18,7°	10,5	7,1	5,0	12,1
28. III.	18,2°	10,8	6,9	4,9	11,8
31. III.	18,8°	10,8	6,0	4,8	10,8
1. IV.	17,0°	9,7	8,0	5,1	13,1
2. IV.	16,8°	9,8	7,6	5,1	12,8
3. IV.	15,6°	9,5	8,4	5,0	13,4
4. IV.	16,6°	9,2	8,3	5,9	14,2
6. IV.	17,4°	8,8	8,3	5,8	14,1
8. IV.	17,3°	8,2	7,8	5,9	13,7

Wir erkennen folgendes:

1. Eine so bedeutende Zunahme der L.-F., wie wir sie vorher ohne Ausnahme dreimal bei der Platte wahrnahmen, ist jetzt in der Ruhepause nicht eingetreten.

2. Die Zunahme beschränkt sich auf die Werte der ersten Versuchsperiode, wie aus folgender Zusammenstellung ersichtlich ist:

Die L.-F. der ersten Versuchsperiode hat während der Ruhezeit zugenommen (von 8,7 auf 10,5 Skalenteile); sie nahm während der Versuchszeit (26. III. bis 8. IV.) ab (von 10,5 auf 8,2 Skalenteile).

Die L.-F. der zweiten Versuchsperiode hat während der Ruhezeit abgenommen (von 9,4 auf 7,1 Skalenteile); sie nahm während der Versuchszeit (26. III. bis 8. IV.) zu (von 7,1 auf mehr als 7,9 Skalenteile).

Die L.-F. der dritten Versuchsperiode hat während der Ruhezeit abgenommen (von 7,4 auf 5,0 Skalenteile); sie nahm während der Versuchszeit (26. II. bis 8. IV.) zu (von 5,0 auf 5,9 Skalenteile).

3. Die gesamte in 5 Minuten beförderte Elektrizitätsmenge ist in der genannten Versuchszeit ungefähr gleich geblieben, während sie früher bedeutend abnahm.

Demnach wäre es für das Verhalten einer vorher zu Ladungs-Entladungsversuchen verwendeten Platte bei einem auf eine längere Ruhepause folgenden Ladungs-Entladungsversuch in der Tat keineswegs gleichgültig, ob sie diese Pause mit geredeten oder mit isolierten Belegungen zugebracht hat. Falls weitere Versuche dieses Ergebnis bestätigen sollten, wird man bei einer Fortsetzung der Untersuchung von unbestrahltem NaCl natürlich auf diesen Umstand Rücksicht nehmen müssen; die aus der vorliegenden Arbeit gezogenen Schlüsse werden aber davon nicht wesentlich berührt.

Wir wollen uns nun der Beschreibung von Versuchen zuwenden, die zum größten Teil wesentlich sicherere und mehr eindeutige Ergebnisse geliefert haben, als die bisher besprochenen und die auch den Hauptgegenstand der vorliegenden Untersuchung bilden.

**Einfluß einer Beleuchtung mit Nernstlampenlicht  
auf die L.-F. des NaCl.**

Die noch im weiteren Verlauf der Veröffentlichung mitzutstellende Beobachtung, daß die L.-F. von X-bestrahltem NaCl durch Beleuchtung vermehrt wird, gab Veranlassung, zu untersuchen, ob vielleicht auch die L.-F. von nicht bestrahltem NaCl im Lichte eine andere ist als im Dunkeln.

Anfängliche Versuche ließen keine Wirkung des Lichtes erkennen; nachdem aber die Beleuchtungsstärke bedeutend vermehrt, und das Beobachtungsverfahren verschärft worden war, wurden etwas andere Erfahrungen gemacht. Anknüpfend an das auf S. 9 Gesagte, teile ich von vielen Versuchen als Beispiel das Ergebnis von Versuchen mit, die mit der dort besprochenen „alten“ Platte gemacht wurden. Am 11. Tage nach dem Anlegen der Ladung von etwa 1500 Volt, als die L.-F. der stets im Dunkeln gehaltenen Platte auf etwa 0,6 Skalenteile in 4 Minuten (vgl. Tab. I) heruntergegangen war, wurde sie plötzlich durch Wegziehen eines lichtdichten Schiebers von dem oberen Kästchenfensterchen der Beleuchtung eines in ungefähr 10 cm Entfernung aufgestellten 32kerzigen Nernststoffes ausgesetzt, nachdem kurz vorher die Erdleitung des Elektrometers aufgehoben worden war. Mit dieser Beleuchtung setzte dann sofort eine bedeutend stärkere Elektrometernadelbewegung ein (1,4 Skalenteile in 15 Sekunden), die allmählich wieder kleiner wurde, nach 19 Minuten aber immerhin noch 0,9 Skalenteile pro Minute betrug. Es mußte deshalb gefolgert werden, daß die Beleuchtung die L.-F. der Platte wenig, aber doch sehr bemerkbar beeinflußt hatte. Indessen, als nach der 19 Minuten lang dauernden Beleuchtung die Platte plötzlich verdunkelt wurde, trat eine Erscheinung auf, die Zweifel an dieser Schlußfolgerung aufkommen ließ. Beim Verdunkeln trat nämlich nicht die zu erwartende sofortige Verlangsamung der Elektrometernadelbewegung ein, sondern auffallenderweise wurde zuerst eine Zeitlang — etwa während  $1\frac{1}{2}$  Minuten — ein kleiner, aber sichergestellter Rückgang des Zeigers von 0,2 Skalenteilen, dann von 0,1 Skalenteil und zuletzt (nach etwa 2—3 Minuten) 0,0 Skalenteil in 15 Sekunden wahrgenommen, eine Zufuhr von negativer Elektrizität zum Elektrometer trotz der dauernd vorhandenen positiven Ladung von 1500 Volt anzeigen. Noch später stellte sich wieder die

langsame Bewegung nach positiven Zahlen, die schon vor der Beleuchtung vorhanden war, ein. Das war offenbar eine Erscheinung, die mit einer durch Beleuchtung hervorgerufenen Vermehrung der L.-F. nichts zu tun hatte, die also einer anderen Ursache zuzuschreiben war. Diese Ursache hat sich dann auch bald nach weiteren Versuchen gefunden. Von der Nernstlampe geht eine intensive Strahlung aus, die, wenn auch durch das über dem Fensterchen des Kästchens angebrachte, mit Wasser gefüllte Glaströßchen vermindert, das NaCl-Präparat erwärmen muß, und zwar wegen der Diathermansie des NaCl hauptsächlich dessen untere Graphitbelegungen. Infolgedessen fängt die untere Elektrode an, sich zu vergrößern, sobald die Belichtung einsetzt, und nach dem Verdunkeln wird Abkühlung und deshalb eine Verkleinerung der Elektrode eintreten. Wenn nun die Platte, wie es bei dem beschriebenen Versuch der Fall war, positiv geladen ist, so müssen diese Größenveränderungen zur Folge haben, daß bei eintretender Beleuchtung positive Elektrizität und bei eintretender Verdunklung negative Elektrizität zum Elektrometer fließt.<sup>1)</sup> Das sind nun aber gerade wenigstens zunächst qualitativ die Vorgänge, die wir beim Versuch wahrgenommen haben. Es war deshalb gerechtfertigt, zunächst noch Zweifel zu hegen, ob es richtig war, aus dem beschriebenen Versuch zu folgern, daß Licht die L.-F. unserer Platte vermehrt hatte. Eine Überlegung der quantitativen Verhältnisse hat den gewünschten Aufschluß gebracht. Oben S. 21 wurde angegeben, daß eine Vergrößerung der Graphitelektrode, die von einem Grad Temperaturerhöhung bewirkt wird, bei etwa 1600 Volt Ladung eine Menge Influenzelektrizität zum Elektrometer führt, die sich dort durch einen Ausschlag von 0,64 Skalenteilen bemerkbar machen muß. Die bei vorgenommener Verdunklung erhaltenen Elektrometerrausschläge führen nun zu Temperaturänderungen, die sehr gut möglich sein können. Dagegen sind die nach Eintreten der Beleuchtung gefundenen Werte wesentlich zu groß, um durch Temperaturzunahme der Elektrode allein erklärt werden zu können; denn die Annahme von Temperaturänderungen von  $60^{\circ}$  und mehr ist natürlich auszuschließen.

1) Bei ungeladener geerdeter Platte dürften dann natürlich Beleuchtung und Verdunklung keine Elektrometerrausschläge bewirken, was der Versuch auch bestätigte.

Es muß also wohl endgültig zugestanden werden, daß eine die L.-F. der Platte vermehrende Wirkung des Lichtes, wenn auch nur in verhältnismäßig sehr schwachem Maße und bloß während der Beleuchtung, wahrgenommen wurde.

Ähnliche Resultate wurden auch bei anderen Platten gefunden; dagegen liegen auch Versuche vor, aus denen keine merkliche Lichtwirkung abgeleitet werden kann. Bezeichnenderweise sind das Versuche, die mit ausgeglühtem, d. h. vor dem betreffenden Versuch stark erhitzen (vgl. S. 35 u. 107) NaCl unternommen wurden, während zu den anderen nicht ausgeglühtes Material verwendet worden war. Nun wird im folgenden mitgeteilt werden, daß eine X- oder  $\gamma$ -Bestrahlung das NaCl lichtempfindlich macht, d. h. in einen Zustand versetzt, in dem Licht seine L.-F. unter Umständen ungemein stark vermehrt, und weiter werden wir erfahren, daß das in der Natur vorkommende gefärbte NaCl die Eigenschaft bei Beleuchtung verhältnismäßig gut leitend zu sein, schon ohne weiteres besitzt. Auch wird mitgeteilt werden, daß ein genügend lang fortgesetztes starkes Erhitzen von X-bestrahltem oder auch von gefärbtem NaCl diese erworbene Eigenschaft vernichtet. Ich halte es nun für so gut wie sicher, daß diejenigen Platten, die sich bei den oben beschriebenen Proben auf Lichtempfindlichkeit als schwach lichtempfindlich erwiesen — es waren das die nicht ausgeglühten —, diese Eigenschaft schon von Hause aus besaßen, sei es infolge der überall in der Natur verbreiteten  $\gamma$ -Strahlung oder einer, freilich nicht sichtbaren, natürlichen Färbung oder von diesen beiden Ursachen zusammen und gebe deshalb meiner auf Grund aller gemachten Erfahrungen gewonnenen Überzeugung Ausdruck, daß das Licht der Nernstlampe oder auch das uns zur Verfügung stehende Sonnenlicht nicht imstande ist, die L.-F. von vorher nicht bestrahltem und gänzlich farblosem NaCl um einen mit den gebrauchten Mitteln nachweisbaren Betrag zu verändern.

**Einfluß einer X-Bestrahlung auf die L.-F. des NaCl.**

Prüft man die L.-F. einer im Dunkeln aufgestellten, vorher nicht bestrahlten NaCl-Platte während einer X- oder Radiumbestrahlung, so findet man sie größer als vor der Bestrahlung. Bei Anwendung einer schwachen Bestrahlung konstanter Intensität (also von Radiumstrahlen) erreicht

diese Vergrößerung bald nach Anfang der Bestrahlung einen Wert, der bei fortgesetzter Bestrahlung, wenn überhaupt, nur noch wenig steigt (vgl. S. 109). Die letztere Tatsache erkläre ich mir namentlich mit Rücksicht auf das sogleich mitzuteilende Resultat, durch ein mit der Zeit eintretendes dynamisches Gleichgewicht zwischen der durch X-Strahlen bewirkten Erzeugung von Aktivität und ihrem Verschwinden. An anderer Stelle, S. 92, wird über diese Versuche noch etwas mehr berichtet werden.

Wird eine dauernd geladene Platte bald *nach* stattgefunder Bestrahlung auf ihre L.-F. untersucht, so findet man als Nachwirkung der Bestrahlung immer noch eine Erhöhung der ursprünglichen L.-F., die aber geringer ist als während der Bestrahlung und die allmählich mit der Zeit verschwindet. Einige von den vielen hierher gehörenden Versuchen mögen etwas ausführlicher beschrieben werden.

Auf S. 25 ist bereits kurz angegeben, daß Ladungs-Entladungsversuche mit der verdunkelten „älteren“ Platte angestellt wurden, jedesmal nachdem die Platte vorher bestrahlt worden war. Das Ergebnis dieser Versuche und ihre Vorbereitung sei zunächst mitgeteilt. Die auf ihrem Rahmen befestigte NaCl-Platte wurde, nachdem das ganze in Aluminiumfolie eingewickelt worden war,<sup>1)</sup> in etwa 15 cm von der Antikathode einer gewöhnlichen, ziemlich weichen, von einem mittelgroßen, mit Turbinenunterbrecher versehenen Induktorium betriebenen Röhre 3 Sekunden lang bestrahlt, dann bei der schwachen Beleuchtung einer sonst zu photographischen Zwecken verwendeten roten Glühlampe aus ihrer Aluminiumhülle entfernt, wieder in ihr Kästchen eingesetzt und mit beiden Belegungen zur Erde abgeleitet. Etwa 5 Stunden später fand die Prüfung auf ihre L.-F. im Dunkeln in der früher beschriebenen Weise statt. Dabei ergaben sich Werte, die nur sehr wenig, d. h. gerade noch bemerkbar größer waren, als die vor der Bestrahlung gefundenen (die in der Tab. I auf S. 10 mitgeteilt sind). Auch bei der Entladung wurde im wesentlichen dasselbe gefunden wie vorher. Am 8. Tage

---

1) Diese Aluminiumhüllung verhindert störende Ladungen, die bei der Bestrahlung entstehen können; es empfiehlt sich außerdem, während der Bestrahlung die Glyzerinelektrode mit der Graphitelektrode leitend zu verbinden.

nach Anfang dieser Versuche, in welcher Zwischenzeit Beleuchtungsversuche unternommen wurden, über die weiter unten berichtet werden soll, nahm ich mit der allmählich wieder in ihren Anfangszustand zurückgekehrten Platte eine zweite, 3 Sekunden dauernde X-Bestrahlung unter möglichst gleichen Verhältnissen wie im ersten Falle vor und schloß diesmal nicht erst nach 5 Stunden, sondern schon nach 15 Minuten, in denen die Platte geerdet war, einen Ladungsversuch daran an. Dabei zeigte die Platte nunmehr sehr deutlich eine erhöhte L.-F. Daß eine Erhöhung beim ersten Versuch kaum bemerkbar war, röhrt daher, daß sie sich in den 5 Stunden, die damals zwischen Bestrahlung und Ladungsversuch vergingen, allmählich von selbst verloren hatte. Statt alle beim zweiten Versuch gemachten Beobachtungen hier mitzuteilen, genügt es wohl, folgende Angabe zu machen, die für das Verhalten der Platte charakteristisch ist. Vergleicht man die bei dem zuletzt angestellten Ladungsversuch in je 15 Sekunden erfolgten Elektrometerausschläge mit den entsprechenden, die die noch unbestrahlte Platte ergeben hatte, so zeigt sich, daß jene um den *gleichbleibenden* Betrag von im Mittel 2,3 Skalenteilen größer sind als diese. Diese Regel gilt mit kleinen Abweichungen, die auf Beobachtungsfehler zurückgeführt werden können, für die ersten 3 Minuten des Versuchs. Von da an fängt der Unterschied zwischen der L.-F. der bestrahlten und der der unbestrahlten Platte an abzunehmen, hauptsächlich wohl infolge des vorhin schon erwähnten allmählichen Verschwindens der Wirkung der vorangegangenen Bestrahlung.

Bevor ich auf dieses Ergebnis etwas näher eingehe, sei noch der Verlauf des dritten Versuchs mitgeteilt, der 4 Tage, in denen die Platte sich von der zweiten Bestrahlung erholte, nach dem zweiten angestellt wurde. Unter wieder möglichst gleichen Verhältnissen wie zuvor fand diesmal eine 15 Sekunden lange X-Bestrahlung statt, auf die wieder sofort ein Ladungsversuch bei ungefähr gleicher Temperatur folgte. Die dabei in je 15 Sekunden erhaltenen Elektrometerausschläge können wieder für die ersten 3 Minuten des Versuchs dargestellt werden, als die Summen von den entsprechenden Werten der Tab. I und einer konstanten Zahl, die diesmal im Mittel 5,7 Skalenteile beträgt. Die Tatsache, daß diese Differenz kleiner aus-

gefallen ist als der vielleicht vermutete fünffache Betrag von der beim zweiten, nach nur 3 Sekunden langer Bestrahlung gemachten Versuch gefundenen Differenz findet vielleicht ihre Erklärung in einer Verschiedenheit der Wirksamkeit der X-Strahlenröhre in den beiden Fällen, oder auch in den vorhin kurz erwähnten Versuchen mit der Platte während ihrer Bestrahlung, aus denen wir folgerten, daß die L.-F. wenigstens nach längerer Bestrahlung keineswegs proportional mit der Bestrahlungsdauer zunahm, sondern sehr wesentlich langsamer.

Die drei Versuche haben somit übereinstimmend die Existenz einer mit der Zeit von selbst abnehmenden Nachwirkung der X-Bestrahlung auf die stets dunkel gehaltene Platte nachgewiesen, die in einer Vermehrung der L.-F. besteht, die sich wenigstens für die ersten 3 Minuten der Ladung in gleichbleibendem Betrage zu der in dieser Versuchszeit so beträchtlich abnehmenden L.-F. der unbestrahlten Platte addiert. Letztere Tatsache sei noch durch eine etwas ausführliche Angabe der Ergebnisse des zuletzt erwähnten Versuchs bestätigt.

Ich fand bei der unbestrahlten Platte nach Tab. I auf S. 10:

in der Zeit 1—31 Sekunden nach Anlegen der Spannung einen Ausschlag von 22,8 Skalenteilen;

in der Zeit 121—181 Sekunden nach Anlegen der Spannung einen Ausschlag von 4,6 Skalenteilen.

Addiert man zu dem ersten Ausschlag  $2 \cdot 5,7$ , so ergeben sich 34,2 Skalenteile. Addiert man zu dem zweiten Ausschlag  $4 \cdot 5,7$ , so ergeben sich 27,4 Skalenteile, beides in Übereinstimmung mit folgenden, bei dem Versuch nach 15-sekundiger Bestrahlung gefundenen Werten: in der ersten Zeit 33,8 Skalenteile, in der zweiten Zeit 27,7 Skalenteile. Würden dagegen die zu verschiedenen Zeiten innerhalb der ersten 3 Minuten gefundenen Werte der L.-F. durch die Bestrahlung in gleichem Verhältnis gestiegen sein, in unserm Falle z. B. im Verhältnis von  $27,7 : 4,6$ , so hätten sich in der Zeit von 1—31 Sekunden  $22,8 \cdot 27,4 = 187,8$ , statt der gefundenen 33,8 Skalenteile ergeben müssen.

Es sei hier noch eines Versuchs mit der auf S. 37 beschriebenen, mit Silber belegten Platte gedacht, der zu dem

gleichen Ergebnis führte. Etwa 4 Stunden nach einer ziemlich weichen X-Bestrahlung von 10 Minuten Dauer wurde im Dunkeln ein Ladungsversuch mit etwa 1500 Volt gemacht. Die L.F. fand sich dabei gegen die vor dieser Bestrahlung bestimmte erhöht und zwar auch wieder in der gleichen regelmäßigen Weise, wie bei den oben beschriebenen Versuchen mit der „älteren“ Platte: Innerhalb der ersten 6 Minuten der Ladezeit waren, wie aus der Tab. X hervorgeht, die in den aufeinanderfolgenden Zeitintervallen von je 15 Sekunden beobachteten

Tabelle X.

Differenz bestr.-unbestr. Platte	1,7	2,3	2,2	1,9	4,2	4,0 Skt.
Versuchsperiode	1-16	16-31	31-46	46-61	61-91	91-121 Sek.
Differenz bestr.-unbestr. Platte	4,2	4,2	3,8	4,0	4,2	3,8 Skt.
Versuchsperiode	151-181	181-211	211-241	241-271	271-301	301-331 Sek.

Elektrometerausschläge um den gleichen Betrag von im Mittel 2,0 Skalenteilen größer als die, welche vorher bei der unbestrahlten Platte zu den entsprechenden Zeiten gefunden worden waren. Daß jetzt nach 4 Stunden eine so merkliche Nachwirkung vorhanden war, steht scheinbar im Gegensatz zu dem Ergebnis des ersten Versuchs und ist wohl der viel längeren Bestrahlungsdauer beim letzten Versuch zuzuschreiben. Am nächsten Tage (etwa 19 Stunden später) zeigte sich bei einem Ladungsversuch, wie nach dem oben Mitgeteilten zu erwarten ist, die Nachwirkung so gut wie verschwunden.<sup>1)</sup>

1) Der an diesem Tage auch vorgenommene Entladungsversuch zeigte ebenfalls keine Andeutung von einer etwa noch vorhandenen Vermehrung der Leitfähigkeit. Es sei hier noch die allgemeine Bemerkung hinzugefügt, daß ein Entladungsversuch nicht unter allen Umständen eine vorhandene vermehrte Leitfähigkeit durch eine vergrößerte Stromstärke erkennen lassen muß. Das Superpositionsgesetz verlangt nämlich, daß ein Entladungsversuch erst dann von einer Vermehrung der Leitfähigkeit etwas anzeigen kann, wenn dieser Versuch zu einer Zeit vorgenommen wurde, wo der vorangegangene Ladungsversuch Werte geliefert hatte, die kleiner sind als die, für welche die oben mitgeteilte Additionsregel noch zutrifft.

Ein gleiches Verhalten kann man aus den in der Tab. V unter 25. VII. und 21. XII. aufgeführten Versuchen entnehmen.

Immer wurde bei den Versuchen dieses Abschnitts dafür gesorgt, daß die Platte während und nach der X-Bestrahlung keiner Beleuchtung, oder höchstens nur für die kurze Zeit, die zum Einsetzen der Platte in das Kästchen benötigt war, der Beleuchtung einer dunkelroten Lampe ausgesetzt war. Diese Maßregel ist durchaus nötig, denn wie später unten mitgeteilt werden wird, übt eine vorangegangene Beleuchtung auf die L.-F. im Dunkeln einer vorher bestrahlten Platte eine sehr beträchtliche, vermehrende Nachwirkung aus („Nachwirkung von hell auf dunkel“). Nicht zu vermeiden ist aber, daß die Platte während der X-Bestrahlung fluoresziert. Man muß deshalb mit der Möglichkeit rechnen, daß dieses Eigenlicht die beschriebene Nachwirkung der X-Bestrahlung — und vielleicht auch die erhöhte L.-F. während der Bestrahlung (vgl. S. 81) — bewirkt hat. Eine Entscheidung über diese Frage hat sich nicht herbeiführen lassen.

Wir kommen somit zu folgendem Ergebnis dieses Teiles der Untersuchung: *Die L.-F. des verdunkelten Steinsalzes wird infolge der X-Bestrahlung sowohl während der Bestrahlung, als auch nachher, dann aber in mit der Zeit abnehmender Stärke um ein Geringes — im Vergleich zu der Erhöhung, die bei einer nachherigen Beleuchtung eintreten würde — erhöht.* Möglicherweise ist diese Erhöhung nicht einer unmittelbaren Wirkung der X-Strahlen zuzuschreiben, sondern dem Fluoreszenzlicht, das bei der Bestrahlung im NaCl auftritt.

Besonders lebhaftes Interesse erweckte die Wahrnehmung, daß eine Beleuchtung von vorher X-bestrahltem NaCl, dessen L.-F. ungemein stark zu vermehren imstande ist. Im folgenden soll über die in dieser Beziehung erhaltenen Ergebnisse berichtet werden.

Um den Leser gleich bekannt zu machen mit einigen Hauptergebnissen dieses Teiles der Untersuchung, beschreibe ich wohl am besten die Fortsetzung des oben beschriebenen, nach der ersten, 3 Sekunden dauernden Bestrahlung gemachten Versuches mit der „älteren“ Platte. Ich verzichte damit auf eine chronologische Darstellung der Untersuchung, denn sehr viele Versuche über den gleichen Gegenstand mit anderen NaCl-Platten waren bereits vorhergegangen.

a) Als die Messung der L.-F. der mit etwa 1500 Volt geladenen verdunkelten, vorher 3 Sekunden X-bestrahlten Platte stattgefunden hatte (vgl. S. 82) — sie ergab nach 21 stündiger Ladung 0,6 Skalenteile pro Minute —, wurde bei dauernder Ladung durch Wegziehen des das obere Kästchenfensterchen bedeckenden Schiebers plötzlich das durch 8 cm Wasser gesiebte Licht der einige Zeit vorher angezündeten 32 kerzigen, in etwa 10 cm über der Platte aufgestellten Nernstlampe — ohne Glasschutz — der mit dem isolierten Quadrantenpaar verbundenen Platte dauernd zugeleitet.<sup>1)</sup> Sofort setzte eine äußerst rasche Bewegung des Lichtzeigers ein, die diesen innerhalb eines Bruchteils von einer Sekunde über die Skala hinausbrachte, so daß von einer Messung der enorm gesteigerten L.-F. noch nicht die Rede sein konnte. Ähnliches, wenn auch mit geringerer Vehemenz, trat bei einer erneuerten Probe noch 1 Minute später ein und erst nach einer  $3\frac{1}{2}$  Minuten langen Beleuchtung — bei immer fortgesetzter Ladung — konnte mit einer ungefähren Messung der L.-F. begonnen werden. Folgende Werte wurden dabei erhalten.<sup>2)</sup>

Tabelle XI.

Anfang der Beleuchtung 3 Uhr 22 Minuten.

Zeit	Elektrometerausschlag in 5 Sek.
3 <sup>h</sup> 22,0 Min.	1620 Skt. } aus dem zweiten Be-
23,0 "	540 " } strahlungsversuch S. 90
25,5 "	130 "
26,5 "	90 "
27,5 "	70 "
28,5 "	60 "
29,5 "	55 "
30,5 "	45 "
31,5 "	35 "
32,5 "	33 "
33,5 "	29 "
34,5 "	25 "
35,5 "	23 "
36,5 "	22 "
37,5 "	20 "
38,5 "	20 "

1) Die Beobachtung der zu messenden Ausschläge fing also nicht wie bisher eine Sekunde nach Anlegen der Spannung, sondern mehrere Stunden später an, was für die Beurteilung der Ergebnisse von Bedeutung ist.

2) Auf möglichst genaue Bestimmung der Ausschläge wurde, weil zunächst zwecklos, kein Gewicht gelegt. Die Tabelle ist eine abgekürzte Wiedergabe der Ergebnisse.

Der Versuch ergab somit folgende bemerkenswerte Tatsache: *Die Beleuchtung einer vorher — im vorliegenden Fall 3 Sek. lang — X-bestrahlten Steinsalzplatte mit dem Licht einer Nernstlampe vermehrt ihre L.-F. sehr bedeutend.* Die Platte ist durch X-Bestrahlung stark lichtempfindlich („aktiv“) geworden. In diesem speziellen Fall wurde — wenn wir von der vor der Beleuchtung zuletzt bestimmten Stromstärke 0,6 Skalenteile pro Minute und von dem Resultat eines bald folgenden Versuches ausgehen — die Stromstärke im Augenblick der eintretenden Beleuchtung mehr als 40000 mal vergrößert. Aus der Tabelle ist noch zu entnehmen, daß die in je 5 Sekunden erhaltenen Elektrometerausschläge bei dauernder Beleuchtung und Ladung, ähnlich wie bei dem unbestrahlten NaCl, beträchtlich mit der Zeit abnehmen.

b) Nach der letzten dieser Messungen der L.-F. blieb die Platte noch eine Minute beleuchtet, dann wurde sie plötzlich verdunkelt und bei ununterbrochener Ladung auf ihre L.-F. im Dunkeln geprüft. Es ergaben sich etwa 3 Skalenteile in 15 Sek. Vergleicht man diesen Wert mit dem kurz vor Anfang der Beleuchtung, also auch im Dunkeln erhaltenen — 0,6 Skalenteile in einer Minute —, so erkennt man, daß eine „Nachwirkung“ und zwar von beträchtlicher Größe aufgetreten war, *eine vermehrende Nachwirkung der vorangegangenen Beleuchtung auf die L.-F. der verdunkelten X-bestrahlten Platte<sup>1)</sup>* — kurz ausgedrückt eine „Nachwirkung von hell und dunkel“. Dieser neue Dunkelwert sank während einer Beobachtungszeit von 33 Minuten auf etwa 5,8 Skalenteile pro Minute.

c) Nach dieser Feststellung wurde die Platte nochmals plötzlich beleuchtet. Der sofort nach Beleuchtung eingetretene Elektrometerausschlag betrug etwa 42 Skalenteile in 5 Sek. Da die Platte zuletzt bei „hell“, also unmittelbar vor „dunkel“, 20 Skalenteile in 5 Sek. geliefert hatte, so war die L.-F. jetzt um etwa 22 Skalenteile in 5 Sek. größer als vorher. Es war also während der Verdunklung — die Ladung blieb fortwährend bestehen — eine „Erholung“ der Platte eingetreten. Einige Minuten später lieferte die Platte wieder die gleiche

---

1) Der häufig zu verwendende Ausdruck X-bestrahlte Platte bezieht sich auf eine Platte, die vorher X-bestrahlt wurde und nicht etwa auf eine Platte während einer solchen Bestrahlung.

Stromstärke wie vor der Verdunklung, die dann natürlich im weiteren Verlauf der Zeit noch weiter abnahm.

d) Auf diesen Teil des Versuches folgte ein Entladungsversuch mit der andauernd beleuchteten Platte, d. h. also ein Versuch mit geerdeter Platte. Der Elektrometerausschlag in den ersten 5 Sek. betrug etwa 170 Skalenteile. Das Superpositionsgesetz traf also nicht zu; der jetzt gefundene Ausschlag ist ersichtlich viel zu klein. Daraus ist zu entnehmen, was auch mit anderweitigen Beobachtungen übereinstimmt, daß die Lichtempfindlichkeit der Platte in der vorangegangenen Zeit von einer guten Stunde, während sie beleuchtet und geladen war, sehr merklich abgenommen hatte. Dasselbe zeigte sich im Verlauf der folgenden Woche, in der die Platte teilweise im Dunkeln, teilweise beleuchtet einige Male auf ihre L.-F. untersucht wurde und sonst zur Erde abgeleitet blieb, so daß sich schließlich die Platte nur noch wenig lichtempfindlich erwies und für die zweite oben erwähnte dreisekündige X-Bestrahlung verwendet werden konnte (vgl. S. 89).

Ich möchte nun das unter a) b) c) und d) Gesagte durch Mitteilungen von weiteren Tatsachen und Überlegungen noch ergänzen. Zunächst sei aber noch die allgemeine Bemerkung gestattet, daß schon aus dem bereits erwähnten deutlich hervorgeht, wie sehr die L.-F. des beleuchteten, vorher bestrahlten NaCl von dem, was vor der Bestimmung der L.-F. mit der Platte etwa vorgenommen wurde, abhängig ist. Polarisation, Nachwirkung, Erholung, selbständige zeitliche Abnahme der Lichtempfindlichkeit sind schon als Faktoren erkannt, die das Ergebnis einer L.-F.-Bestimmung einer solchen Platte unter Umständen sehr beeinflussen können und noch andere werden im Laufe der Mitteilung bekannt gegeben werden. Diese Abhängigkeit der L.-F. von der „Vorgeschichte“ hat in der Tat die Untersuchung in mancher Beziehung erschwert, in die Länge gezogen und über verschiedene Fragen noch Unsicherheit bestehen lassen. Auf diesen Umstand muß bei der Beurteilung des Folgenden Rücksicht genommen werden.

ad a) Weil bei dem beschriebenen, nach der ersten Bestrahlung unternommenen Versuch die in der ersten Versuchszeit auftretenden Elektrometerausschläge zu groß waren, um gemessen werden zu können, und weil es von Interesse war, zu erfahren, inwieweit zwei unter gleichen Verhältnissen von

Bestrahlungsdauer, Spannung und Temperatur mit der Platte ausgeführte Bestimmungen der L.-F. untereinander übereinstimmende Werte lieferten, wurde die Platte nach diesem ersten Versuch, als sie ihre Aktivität genügend verloren hatte, nochmals 3 Sek. lang bestrahlt und dann unter genau gleichen Umständen wie das erstmal auf ihre L.-F. untersucht. Nur war um die L.-F. auch in der ersten Zeit nach Eintritt der Beleuchtung messen zu können, diesmal ein Kondensator von 0,01529 M.-F. während dieser Zeit zugeschaltet, und dadurch die Kapazität der Plattenleitung gegen vorher auf das 60fache vergrößert.

Von den in je 15 Sekunden erhaltenen Werten sind einige in Kol. 2 der Tab. XII wiedergegeben, und zwar sind alle auf gleiche, nicht vermehrte Kapazität bezogen.

Tabelle XII.  
Elektrometerausschläge in 15 Sekunden.

I Beobachtungszeit	II 3 Sek. X-be- strahlte Platte	III 15 Sek. X-be- strahlte Platte	IV 7 Min. X.be- strahlte Platte *)	III/II	IV/II
0 Sek. bis	15 Sek.	4140	18400	25500	4,4
15 "	" 30 "	2880	12400	17000	4,3
30 "	" 45 "	2100	10000	12600	4,8
45 "	" 60 "	1680	8600	10100	5,1
1 Min. 30 "	" 1 Min. 45 "	—	4300	5300	—
1 " 45 "	" 2 " 0 "	750	3650	4500	4,0
2 " 0 "	" 2 " 15 "	630	3400	—	5,4
2 " 15 "	" 2 " 30 "	600	2950	—	4,9
2 " 30 "	" 2 " 45 "	510	2500	—	4,9
3 " 30 "	" 3 " 45 "	380	1890	1700	5,0
4 " 30 "	" 4 " 45 "	260	1400	—	5,4
5 " 30 "	" 5 " 45 "	200	—	850	—
6 " 30 "	" 6 " 45 "	170	810	—	4,8
7 " 30 "	" 7 " 45 "	140	700	—	5,0
8 " 30 "	" 8 " 45 "	120	540	560	4,5
9 " 30 "	" 9 " 45 "	110	—	—	—
10 " 30 "	" 10 " 45 "	95	480	—	5,1
11 " 30 "	" 11 " 45 "	85	410	—	4,8
12 " 30 "	" 12 " 45 "	80	390	—	4,9
13 " 30 "	" 13 " 45 "	75	—	—	—
14 " 30 "	" 14 " 45 "	65	320	—	5,0
15 " 30 "	" 15 " 45 "	60	310	—	5,2
16 " 30 "	" 16 " 45 "	60	270	—	4,5
17 " 30 "	" 17 " 45 "	54	260	—	4,8

\*) Bezüglich der Zeitangabe bei diesem Versuch vgl. S. 94.

Aus einem Vergleich dieser Werte mit denen der Tab. XI geht hervor, daß die beiden Versuche recht gut untereinander übereinstimmende Resultate geliefert haben, besser als in Anbetracht der so sehr kurzen Bestrahlungsdauer zu erwarten war. Ein Vergleich mit den an der unbestrahlten Platte erhaltenen Werten (Tab. I) hat kaum eine Bedeutung, weil die Versuchsbedingungen in bezug auf die Zeit des Anlegens der Spannung nicht dieselben sind: die Beobachtung der Elektrometerablenkungen fing bei der unbestrahlten Platte 1 Sek., bei der bestrahlten mit dem Anfang der Beleuchtung, d. h. etwa 24 Stunden nach Anlegen der Spannung an. Hier nicht mitgeteilte Versuche, sowie der auf S. 94 zu erwähnende, bei denen das Einsetzen der Beleuchtung kurz dem Anlegen der Spannung voranging, und bei denen die Elektrometerausschläge wieder 1 Sek. nach Anlegen der Spannung anfingen, ließen erkennen, daß der bei der ebenfalls mit Glyzerin belegten, nicht bestrahlten Platte gefundene rasche Abfall der Stromstärke am Anfang eines Versuches (vgl. Tab. I) nicht so rasch bei einer beleuchteten X-bestrahlten Platte stattfand; demnach muß in diesem Fall der Einfluß der Rückstandsbildung auf die Stromstärke weit geringer oder in anderer Weise auf die Versuchszeit verteilt gewesen sein als in jenem. Die ganze durch X-Bestrahlung und Beleuchtung bewirkte Vermehrung der Stromstärken etwa als eine Vermehrung der Rückstandsbildung in Maxwell'scher Auffassung anzusehen, halte ich nicht für angängig.

Das Superpositionsgesetz traf bei der auf den Ladungsversuch folgenden Erdung wieder nicht zu; wenn es bei einer beleuchteten X-bestrahlten Platte zutreffen soll, so darf der Ladungsversuch nur so lange dauern, daß die Lichtempfindlichkeit der Platte während dessen nicht merklich abgenommen hat.

Es ist wohl zu erwarten, daß mit der Dauer der X-Bestrahlung die der Platte mitgeteilte Lichtempfindlichkeit zunehmen wird, und man wird schon auf Grund der mitgeteilten Beobachtung, daß die Lichtempfindlichkeit des X-bestrahlten NaCl von selbst mit der Zeit abnimmt — auch im Dunkeln, wie weiter unten noch näher erwähnt werden soll — vermuten, daß die auf gleiche Zeiten bezogene Zunahme der Lichtempfindlichkeit bei andauernder Fortsetzung der X-Bestrahlung im Laufe dieser Bestrahlungszeit immer kleiner wird, so daß

dabei einem dynamischen Gleichgewicht zwischen neu erzeugter und verschwindender Lichtempfindlichkeit zugestrebt wird; diese Vermutung hat sich bestätigt. Beiträge zur Beantwortung dieser Frage finden sich in den Ergebnissen von vielen Versuchen, die während der langen Zeit der Untersuchung ange stellt wurden; es war z. B. schon lange bemerkt worden, daß die Verlängerung der Bestrahlungsdauer über eine gewisse Grenze hinaus die Lichtempfindlichkeit jedenfalls in nicht besonders bemerkbarem Betrage weiter vergrößert. Ob auch die Haltbarkeit der mit der Zeit von selbst verschwindenden Lichtempfindlichkeit bzw. der zeitliche Verlauf eines Ladungsversuches ebensowenig von der Dauer der Bestrahlung beeinflußt wird, darüber bin ich nicht in der Lage Angaben machen zu können.<sup>1)</sup>

Von den Versuchen, die ich u. a. auch mit der „älteren“ Platte anstelle, um die erwähnte Frage zu beantworten, mögen hier folgende mitgeteilt werden. Nachdem die Platte die beschriebene zweite dreisekündige Bestrahlung und die sich daran anschließenden Ladungs- und Entladungsversuche durch gemacht, und nachdem sie sich von diesem Bestrahlungseinfluß wieder genügend befreit hatte, wurde sie unter möglichst gleichen Verhältnissen wie zuvor einer 15sekündigen, also einer 5 mal längeren Bestrahlung als vorher ausgesetzt und sehr bald darauf zuerst wieder etwa 24 Stunden im Dunkeln geladen und dann auch wieder bei fortgesetzter Ladung plötzlich mit der Nernstlampe beleuchtet. Um die zu erwartende noch größere L.-F. messen zu können, war diesmal für die erste Versuchszeit ein Kondensator von 0,07 M.-F. zu der Elektrometerleitung zugeschaltet, wodurch die Gesamtkapazität gegen die letzte Versuchsreihe auf das 4,6 fache erhöht war (also gegen die des ersten Versuches auf das 270fache).<sup>2)</sup> Von den

1) Eine so dunkle Gelbfärbung des NaCl, wie sie durch R-Bestrahlung erreicht werden kann, mit X-Strahlen zu erhalten, ist mir nicht gelungen.

2) Die Kapazität der verwendeten Kondensatoren war derart, daß wenigstens die im Anfang der drei Versuchsreihen zu je einer Versuchszeit gehörigen tatsächlich beobachteten Ausschläge untereinander nicht so sehr verschieden waren, was für einen gegenseitigen Vergleich ja recht günstig ist. Bei den im späteren Verlauf der Versuche gemessenen Ausschlägen war das nicht mehr der Fall, so daß bei einem Vergleich dieser Werte untereinander nicht außer Acht gelassen werden darf, daß die Messung am bewegten Lichtzeiger vor-

Ergebnissen dieser Versuche sind einige und zwar solche, die sich auf die gleichen Versuchszeiten, die sich auch beim letzten Versuch vorfanden, beziehen und deshalb zu einem Vergleich dienen können, in Kolumne 3, Tab. XII mitgeteilt.

Man erkennt aus Kolumne 2 und 3, daß die Lichtempfindlichkeit der 15 Sek. lang bestrahlten Platte bedeutend größer war als die der 3 Sek. bestrahlten und weiter aus der Kolumne 3 : 2, die die Verhältnisse zusammengehöriger Werte der Kolumnen 3 und 2 enthält, daß die durch Strahlung erworbene L.-F. annähernd in gleichem Verhältnis wie die Bestrahlungsdauer zugenommen hat, und zwar gilt dies so ziemlich für alle Versuchszeiten vom Anfang an bis zur Zeit 17 Min. 30 Sek. nach Anfang der Beleuchtung. Diese Proportionalität überrascht einigermaßen, weil nach S. 91 wohl eine langsamere Zunahme der L.-F. zu erwarten war, und ich glaube auch, daß das fast genaue Zutreffen der Proportionalität (das Mittel aller Zahlen der Kolumne 3 : 2 ist 4,9) mehr einem Zufall zuzuschreiben ist. Es ist nämlich ein genaues Einhalten der Bestrahlungszeit — insbesondere der dreisekündigen — sowie ein gleiches Funktionieren der X-Strahlenröhre, als auch eine genaue Gleichheit der Intensität der Nernstlampe in beiden Versuchen zu wenig gewährleistet, um zu der Folgerung, daß die erwähnte Proportionalität in dem beobachteten Maße wirklich bestehe, berechtigt sein zu können.<sup>1)</sup> Ich möchte nach näherer Überlegung und in Verbindung mit dem folgenden (Kolumne 4) in diesen Versuchen keinen Widerspruch erblicken gegen die auch bei anderer Gelegenheit mehrfach gebildeten Ansicht, daß die Zunahme der Lichtempfindlichkeit während einer X-Bestrahlung anfänglich rascher ist als später.

---

genommen wurde, und deshalb eine genaue Proportionalität von Ausschlägen und zu messender Elektrizitätszufuhr nicht angenommen werden darf (vgl. S. 13).

1) Dagegen läßt sich der gleiche Einwand nicht erheben gegen die zweite aus den Versuchen gezogene bemerkenswerte Schlußfolgerung: ungefähriges Gleichbleiben während des ganzen Versuchsverlaufs von dem Verhältnis der bei beiden Versuchen zu gleichen Zeiten aufgetretenen Stromstärken. Ausdrücklich muß hervorgehoben werden, daß diese Regelmäßigkeit nur dann eintreten kann, wenn die Platte unter genau gleichen Bedingungen, namentlich was ihre Vorgeschichte anbetrifft, einer verschieden langen Bestrahlung ausgesetzt war; eine weitere Prüfung dieser Regelmäßigkeit erscheint mir sehr erwünscht zu sein.

Eine dritte Versuchsreihe mit derselben Platte wurde etwa 3 Monate nach der zuletzt beschriebenen erhalten, nachdem die Platte sich von der Wirkung der letzten 15sekundigen Bestrahlung befreit hatte und darauf einer 7 Minuten langen Bestrahlung ausgesetzt worden war. Von den beobachteten Werten sind in der Kolumne 4 der Tab. XII wieder nur diejenigen aufgeführt, die sich wegen der Gleichzeitigkeit ihres Eintreffens in der Versuchszeit mit denen der anderen Versuchsreihen vergleichen lassen. Man erkennt sofort und besonders aber auch aus der Kolumne 4 : 2, daß die Zunahme der L.-F. weit hinter der Steigerung der Bestrahlungsdauer zurückgeblieben ist: das Verhältnis der L.-F. beträgt für die erste Versuchszeit ungefähr 6, das der Bestrahlungszeiten 140. Nun darf aber schon mit Rücksicht auf einen eventuell gehegten Wunsch, diese Zahlen zu weitergehenden Zwecken zu verwenden, nicht unerwähnt bleiben, 1. was schon oben beim Vergleich der Versuche nach 3, bzw. 15sekundiger Bestrahlung gesagt wurde, daß nämlich für eine genaue Gleichheit von Bestrahlungs- und Beleuchtungsverhältnissen bei allen Versuchen keine Gewähr übernommen werden kann, und 2. daß die Vorgeschichte der letzten Versuchsreihe nicht dieselbe war, wie bei den beiden vorangegangenen, indem nämlich zu einem gleich nachher zu besprechenden Zweck die 7 Minuten lang bestrahlte Platte vor dem Eintreten der Beleuchtung anders behandelt worden war als bei den Versuchen nach 3 bzw. 15sekundiger Bestrahlung. In den zuletzt genannten Fällen wurde, wie oben mitgeteilt, die etwa 24 Stunden im Dunkeln mit 1500 Volt geladene Platte bei fortgesetzter Ladung plötzlich der Beleuchtung ausgesetzt und mit der Messung der Stromstärke gleichzeitig mit dem Eintreten dieser Beleuchtung angefangen. Jetzt dagegen setzte die Beleuchtung der Platte sehr bald nach ihrer Bestrahlung ein und zwar während die Platte zur Erde abgeleitet war, dann fand unter Fortsetzung der Beleuchtung ein kurz dauernder Ladungs-Entladungsversuch mit 2 Volt statt und darauf folgte erst — immer ohne Dunkelpause — der Ladungsversuch mit 1580 Volt, so daß mit der Beobachtung der Stromstärke, wie bei dem Versuch mit der unbestrahlten Platte eine Sekunde nach Anlegen der Spannung an die schon etwas längere Zeit beleuchtete Platte angefangen wurde. Diese Umstände können aber nach

näherer Überlegung und nach anderweitig gemachten Erfahrungen bei weitem keine so große Verminderung der beim erwähnten Ladungsversuch aufgetretenen Stromstärken bewirkt haben, daß ihnen die erwähnte Abweichung vom Proportionalitätsgesetz zugeschrieben werden könnte. Ich darf somit als Ergebnis aller dahin gerichteten Versuche angeben, daß die *Lichtempfindlichkeit des NaCl mit der Dauer der sie erzeugenden X-Bestrahlung nicht proportional, sondern in einem mit der Zeit abnehmenden Maße zunimmt*.

Von einem Interesse ist eine Untersuchung des zeitlichen Verlaufes der Stromstärken in den vier in der Tabelle aufgenommenen Versuchsreihen. Zunächst erkennt man bei allen, daß die Abnahme zu Anfang des Versuches am stärksten ist, und daß nach einiger Zeit diese Werte sich nur noch verhältnismäßig wenig ändern. Wenn ich noch die Ergebnisse von manchen anderen, hier nicht aufgeführten, sowie von einem Versuch berücksichtige, der später ausführlicher erwähnt werden soll, und bei dem die Ladung und die Beleuchtung 17 Stunden ununterbrochen anhielten, so kann ich angeben, daß die absolute und die relative Abnahme der noch recht beträchtlichen Stromstärke bei einer lang X-bestrahlten Platte nach genügend langer Ladungs- und Beleuchtungszeit so gering wird, daß davon etwa in einer halben Stunde nichts mehr zu bemerken ist: womit natürlich keineswegs gesagt sein soll, daß dauernd ein konstanter Strom erreicht worden wäre. Dies könnte schon deshalb nicht der Fall sein, weil erfahrungsgemäß die Lichtempfindlichkeit der Platte stetig abnimmt. In Fällen, wo eine verhältnismäßig gute zeitliche Konstanz der von einer noch gut leitenden NaCl-Platte gelieferten Stromstärke erwünscht sein sollte, wird es sich nach dem Vorhergehenden empfehlen, die betreffende Platte so vorzubereiten, wie es bei dem letzten Versuch geschehen ist, d. h. mit den betreffenden Versuchen erst anzufangen, nachdem die lang bestrahlte Platte längere Zeit geladen und gleichzeitig beleuchtet war.

Vergleicht man nochmals die einzelnen Versuchsreihen miteinander (vgl. Tab. XII), so erkennt man weiter folgendes. Zunächst ergibt sich, wie auch schon angedeutet, von kleinen Abweichungen abgesehen, ein paralleler Verlauf der beiden nach 3 bzw. nach 15sekundiger Bestrahlung erhaltenen Ver-

suchsreihen in der Weise, daß während der ganzen Beobachtungszeit von  $17\frac{1}{2}$  Minuten alle für die Stromstärke bei der zweiten Versuchsreihe gefundenen Werte durchgehend im Mittel, 4,9 mal größer sind als bei der ersten. Alle Werte der zweiten Reihe wurden somit von der Verlängerung der Bestrahlungsdauer in gleichem Maße betroffen. Für den Versuch nach 7 Minuten Bestrahlung gilt das Gleiche, aber nur für die erste Versuchszeit von 1 Sek. bis 1 Minute 46 Sek.; später zwischen 1 Minute 46 Sek. und 3 Minuten 30 Sek., nimmt dann die Stromstärke verhältnismäßig rascher ab als bei den vorhergehend erwähnten Versuchen, um dann bis 8 Minuten 30 Sek. wieder in verhältnismäßig gleicher Weise abzunehmen (vgl. Kolonne 4:2). Einen Grund für dieses Verhalten kann ich nicht angeben, der keinen Widerspruch mit den in der Kolonne 3:2 niedergelegten Erfahrungen hervorrufen würde. Die naheliegende Vermutung, daß während des Versuches, etwa 1 Min. 46 Sek. nach dessen Anfang eine Intensitätsabnahme der beleuchtenden Nernstlampe eingetreten wäre, die nicht berücksichtigt werden konnte, weil eine Kontrolle dieser Lampe nicht stattfand, muß zurückgewiesen werden, weil diese Abnahme unwahrscheinlich stark hätte gewesen sein müssen, um die besprochene Abweichung bewirken zu können. Dagegen muß erwähnt werden, daß, wie oben schon mitgeteilt wurde, die Vorgeschichte der beiden Versuchsreihen nicht dieselbe war, und daß sich aus anderen, nicht mitgeteilten Versuchen leicht der Nachweis führen läßt, daß diese Vorgeschichte auch den Verlauf eines Entladungsversuches sehr wesentlich beeinflussen kann; wenn z. B. die Platte sich in dem Zustand der „Erholung“ oder der „Nachwirkung“ befindet, so ist die anfängliche Abnahme der Stromstärke während eines Ladungsversuches deutlich rascher als sonst. Auch halte ich es für sehr wohl möglich, daß dieser Verlauf noch mit der Härte der angewendeten X-Bestrahlung zusammenhängt; die bestrahlte Platte ist ja erfahrungsgemäß keineswegs in ihrer ganzen Dicke gleichmäßig, sondern wegen der stattgefundenen Absorption der X-Strahlen in der Richtung der Bestrahlung im abnehmender Stärke lichtempfindlich. Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen dem Verlauf eines Ladungsversuches und all den verschiedenen ihn beeinflussenden Faktoren hat mich nicht wenig aufgehalten; zu einer eindeutigen, klaren

Lösung bin ich jedoch nicht gelangt. Ich möchte deshalb auf eine weitere Besprechung dieses Gegenstandes verzichten.

Es wurde auch das beleuchtete X-bestrahlte NaCl auf sein Verhalten zum Ohmschen Gesetz geprüft. Von den mehrfachen, zum gleichen Resultat führenden Versuchen sei nur der eine von zwei mit der „älteren“ Platte nach ihrer 7 Minuten Bestrahlung ausgeführten hier erwähnt und zwar wieder nur die Ergebnisse des Ladungsversuches. Er ging unmittelbar dem oben auf S. 99 mitgeteilten mit 1580 Volt Spannung unternommenen voran und wurde mit 2,00 Volt Spannung und natürlich ohne Zusatzkondensator gemacht. Bei so geringer Spannung mußte bei der Auswertung der Beobachtungen darauf Rücksicht genommen werden, daß die zum Elektrometer geführte Ladung eine Gegenspannung erzeugt, deren Einfluß in diesem Fall nicht übersehen werden durfte. Die Elektrometerausschläge mußten deshalb unter Annahme von Proportionalität zwischen Spannung und Stromstärke von diesem Einfluß durch Rechnung befreit werden. In der folgenden Tab. XIII sind einige dieser korrigierten in je 15 Sek. beobachteten bzw. auf diesen Zeitraum reduzierten Werte mit den zeitlich zugehörigen des oben besprochenen, in der Tab. XII mitgeteilten Versuches

Tabelle XIII.

Zeit	1—16 Sek.	16—31 Sek.	31—46 Sek.	46—61 Sek.
2,00 V	32,8	23,2	19,0	17,9
1580 V	25500	17000	12600	10100
Verhältnis	770	790	660	510
Zeit	76—91 Sek.	181—196 Sek.	301—316 Sek.	481—496 Sek.
2,00 V	12,5	9,1	6,6	4,3
1580 V	5900	1700	850	560
Verhältnis	470	190	180	130

zusammengestellt. Beachtet man nun das Verhältnis der bei den Versuchen angewendeten Spannungen  $\frac{1580}{2} = 790$ , so erkennt man daß für die Anfangswerte beider Versuche innerhalb dieses Spannungsgebietes zwischen Spannungen und Stromstärken Proportionalität besteht. Eine Andeutung für das eventuelle Vorhandensein eines Sättigungsstromes geben die erhaltenen Werte nicht.

Die Verhältniswerte für spätere Versuchszeiten zeigen, daß die Stromstärke in der mit hoher Spannung geladenen Platte im Verlauf des Versuches verhältnismäßig wesentlich rascher abnahm als bei niederer Spannung. Zeitliche Abnahme der Lichtempfindlichkeit oder Zunahme der Polarisation müssen demnach im ersten Fall stärker gewesen sein als im zweiten, oder im Verlauf der längeren Ladungszeit sind in der Platte Verhältnisse entstanden, die das Zustandekommen eines Sättigungsstromes, für dessen Existenz zu Anfang des Versuches keine Andeutung vorhanden war, bedingen. Eine direkte Entscheidung, welcher dieser drei Faktoren im vorliegenden Fall maßgebend wirksam war, habe ich nicht beibringen können; doch kommt mir die zuletzt angeführte Erklärung als die viel weniger wahrscheinliche vor. Jedenfalls hat sich auch bei keinem der hier nicht besonders angeführten Versuche der ganzen Untersuchung von bestrahltem NaCl ein unzweifelhaft sicheres Anzeichen für das Vorhandensein von einem Sättigungsstrom innerhalb der verwendeten Spannungsgrenzen gezeigt, wohl aber mehrmals, wie oben, ein für das Fehlen eines solchen.

Ob auch die weitere Forderung des Ohmschen Gesetzes, nach der die Stromstärke der Länge der Strombahn umgekehrt proportional sein muß, für die beleuchtete X-bestrahlte Platte eintrifft, hätte kaum genau geprüft werden können, weil die Lichtempfindlichkeit einer Platte in der Richtung ihrer Dickendimension, die auch die Richtung der benutzten X-Strahlung ist, keineswegs überall gleich, sondern wegen stattgefunder Absorption an den Stellen, die der X-Strahlenquelle näher lagen, größer ist als an den entfernter gelegenen. Besondere L.-F.-Bestimmungsversuche mit zwei aus dem gleichen Stück gespalteten Platten, die bei der X-Bestrahlung übereinander lagen, bestätigte noch diese an und für sich schon plausible Ansicht.<sup>1)</sup>

1) Nach dem oben S. 91 über den Einfluß der Dauer der X-Bestrahlung auf die von ihr erzeugte Lichtempfindlichkeit Gesagten ist zu erwarten, daß die Homogenität einer Platte um so größer sein wird, je länger die X-Bestrahlung fortgesetzt wurde.

Im Anschluß an das Mitgeteilte möchte ich noch bemerken, daß es bei Beurteilung der besprochenen und noch weiter mitzuteilenden Versuchsergebnisse gut ist, nicht aus dem Auge zu verlieren, daß das

*Welche Strahlen* von dem Gemisch, das die Röhre liefert, *die wirksamsten sind*, wurde nicht untersucht; weiche Röhren erwiesen sich im allgemeinen wirksamer als harte. Die bedeutende Lichtempfindlichkeit, die die bereits oben kurz erwähnte durch Kathodenbestäubung versilberte NaCl-Platte eine Zeitlang nach ihrer Versilberung besaß, ist wohl weniger einer direkten Wirkung von Kathodenstrahlen zuzuschreiben, als von sehr weichen X-Strahlen, die in dem verhältnismäßig geringen Vakuum, das bei der Versilberung zur Verwendung kam, erzeugt wurden. Über das Absorptionsspektrum der durch Steinsalz hindurchgegangenen X-Strahlen ist für unsere Frage Ausreichendes noch nicht bekannt.

Über die *Abhängigkeit der L.-F. von der Intensität des die Platte beleuchtenden Lichtes* sind nur wenige und nicht besonders eingehende Versuche gemacht worden. Bei einer exakten Verfolgung dieser Frage wird natürlich mit der von selbst eintretenden und durch eine Beleuchtung beschleunigten Abnahme der Lichtempfindlichkeit zu rechnen sein. Bei einem Versuch mehr orientierender Art geschah die Änderung der Lichtintensität durch Änderung der Entfernung der Nernstlampe von der Platte, und es konnte erkannt werden, daß die beobachteten Stromstärken sich genügend in das Gesetz von Proportionalität von Stromstärke und Lichtintensität einfügten. Unter Anwendung dieses Gesetzes leitet sich aus der Angabe von S. 90 ab, daß die 7 Minuten lang X-bestrahlte Platte sofort nach Eintreten der Beleuchtung bei 1580 Volt Ladung einen Elektrometerausschlag von einem Skalenteile in 5 Sekunden ergeben hätte, wenn die 32kerzige Nernstlampe in etwa 10 m Entfernung aufgestellt gewesen wäre, was einer Beleuchtung von etwa 0,32 Lux entsprochen haben würde. Ein später ausgeführter Versuch mit einer andern, von einer 10 m entfernten Nernstlampe beleuchteten Platte bestätigte dieses Resultat. Genauere Versuche über die Beziehung zwischen Stromstärke und Lichtintensität wären sehr erwünscht.

---

X-bestrahlte NaCl jedenfalls in den meisten Fällen, wenn nicht immer, in der eben besprochenen Art inhomogen ist. Auch dieser Umstand trägt natürlich nicht dazu bei, die Wirkung der einzelnen Faktoren auf die L.F. klarer erkennen zu können.

Über die *Abhängigkeit der L.-F. von der Wellenlänge des beleuchtenden Lichtes* wird weiter unten ausführlich berichtet werden.

*Die Kenntnis des Einflusses der Temperatur* auf die L.-F. des beleuchteten, vorher X-bestrahlten NaCl ist von Wichtigkeit, weil ein Vergleich dieser Größe mit der für unbestrahltes NaCl gefundenen vielleicht einen Unterschied in der Natur der Vorgänge bei der Elektrizitätsbewegung in unbestrahltem und in bestrahltem NaCl erkennen läßt, was selbstverständlich sehr erwünscht wäre. Nun wird zwar eine genaue Bestimmung dieses Temperatureinflusses recht erschwert durch den uns bekannt gewordenen Umstand, daß die Aktivität des bestrahlten NaCl mit der Zeit abnimmt, und außerdem durch die Tatsache, daß diese Abnahme von der Temperatur mitunter stark abhängig ist; es ist mir aber doch gelungen, einen Wert des Temperaturkoeffizienten zu erhalten, der sicher genug ist, um in genannter Beziehung eine zuverlässige Angabe machen zu können.

Es ergab sich aus einem bei aufsteigender und absteigender Temperatur mit einer nur schwach X-bestrahlten und wenig beleuchteten Platte — ihre L.-F. war etwa 60 mal größer als vor der Bestrahlung — angestellten Versuch in dem bei tiefer Zimmertemperatur anfangenden Intervall von etwa 40°, der Temperaturkoeffizient  $\alpha \propto d\alpha/dt$  im Mittel zu 0,011. Dieser Wert wurde erhalten einige Minuten, nachdem die Ladung angelegt war; eine Andeutung für eine Änderung des Koeffizienten mit der Ladungsdauer fand sich nicht. Die Bestimmung des Koeffizienten bei unbestrahltem NaCl hatte ergeben (S. 68): nach etwas längerer Ladungsdauer 0,17, nach kürzerer Ladungsdauer 0,08 und nach sehr kurzer Dauer ein sicher noch wesentlich kleinerer Wert. Nach diesen und den bei andern Versuchen damit übereinstimmend gefundenen Ergebnissen beeinflußt die Temperatur die L.-F. des beleuchteten, bestrahlten NaCl und die des unbestrahlten, farblosen NaCl sicher in sehr verschiedener Weise, und damit erhält die im Verlauf der Untersuchung gewonnene Ansicht, daß die beobachtete Elektrizitätszufuhr zum Elektrometer von der unbestrahlten Platte in anderer Art vermittelt wird, als in der beleuchteten, X-bestrahlten eine wesentliche Stütze.<sup>1)</sup>

ad b) In dem vorhergehenden fand sich einige Male Gelegenheit, die Erscheinung der Nachwirkung einer Be-

1) Vgl. das ähnliche Resultat für blaues NaCl S. 151.

leuchtung auf die L.-F. des verdunkelten X-bestrahlten NaCl zu erwähnen; eine Zusammenstellung von dem, was über diese Nachwirkung gefunden wurde, erscheint angezeigt.

1. Wenn eine anfänglich verdunkelte, andauernd geladene X-bestrahlte Platte eine gewisse Zeit lang beleuchtet war, so zeigt sie nach wiedereingetretener Verdunklung eine größere L.-F. als vor der Beleuchtung.

2. Wenn eine längere Zeit dunkel gehaltene, nicht geladene, X-bestrahlte Platte beleuchtet wird, so hat das zur Folge, daß sie bei einer folgenden Prüfung im Dunkeln eine größere L.-F. aufweist als vor der Beleuchtung.

Beispiele für beide Fälle finden sich S.88 und in der Tab.V. Aus dieser Tabelle ist auch zu ersehen, daß die erzeugte Vermehrung der L.-F. rasch mit der Zeit abnimmt; so war z. B. die nach einem Tag seit stattgefunder Beleuchtung noch sehr deutliche Vermehrung schon am nächstfolgenden Tag nicht mehr mit Sicherheit wahrzunehmen, während die Aktivität der Platte nicht merklich abgenommen hatte. Über den zeitlichen Verlauf dieser Abnahme wurden keine besonderen Versuche gemacht.

Wie zu erwarten, üben Intensität und Dauer der Beleuchtung, sowie die Aktivität der Platte und auch wohl die Temperatur und vielleicht auch der „Strom“ ihren Einfluß auf die Größe und auf das Verschwinden der Nachwirkung aus. Selbstverständlich darf die Beleuchtung, wenn ihr Einfluß bemerkbar sein soll, nicht so lange dauern, daß die Aktivität unterdessen zu sehr abgenommen hat.

3. Ob auch die bei Beleuchtung gemessene L.-F. größer ist, wenn die Platte kurz vorher beleuchtet war, wurde bei den bisherigen Versuchen nicht untersucht; es ergab sich aber eine solche Nachwirkung bei den im folgenden mitgeteilten Versuchen, bei denen spektral zerlegtes Licht zur Verwendung kam.

4. Auch die nach einer im Dunkeln vorgenommenen X-Bestrahlung beobachtete, mehrmals erwähnte Vermehrung der L.-F. einer andauernd verdunkelten Platte, die wir als möglicherweise durch das bei der Bestrahlung auftretende Fluoreszenzlicht verursacht ansahen, verschwindet verhältnismäßig rasch, ohne daß die Aktivität in gleichem Maße, wie z. B. auch aus der Tab. V ersichtlich ist, abnimmt.

Abgesehen von dem Interesse, das diese Erscheinungen an und für sich bieten, sind sie zu der das Verhalten einer Platte bei einem Ladungsversuch so sehr beeinflussenden Vorgeschichte gehörende Tatsachen, auf die bei derartigen Versuchen sehr Rücksicht genommen werden muß.

Ich gestatte mir an dieser Stelle noch über einige Nachwirkungen anderer Art kurz zu berichten. Manchmal findet man in den Elektrometerausschlägen eines Entladungsversuches nicht nur die Spuren, die eine dem Versuch unmittelbar vorangehende Behandlung der Platte hinterlassen hat, sondern auch solche von Prozessen, die ihrerseits dieser Behandlung wieder vorangingen. Ein für die Beurteilung dieses Verhaltens der Platte bezeichnendes Beispiel ist, daß man es an dem Verlauf eines Entladungsversuches unter Umständen sehr deutlich bemerken kann, wenn einer kurz dauernden Ladung etwa mit *positiver* Elektrizität eine längere Zeit dauernde Ladung mit *negativer* Elektrizität vorangegangen war. Die Untersuchung des blauen NaCl, über die noch zu berichten sein wird, bot Gelegenheit zu einem Versuch, der das soeben Gesagte besonders deutlich zur Anschaugung brachte (vgl. S. 165). Selbstverständlich erschweren solche Erscheinungen manchmal sehr die Deutung der Ergebnisse eines Ladungsversuchs und es gibt, wie mir scheint, nur ein Mittel, das freilich ein recht umständliches ist, um die Platte von dem Einfluß solcher Vorgeschichte zu befreien, nämlich, daß man die Platte vor jedem Versuch einer recht hohen Temperatur (etwa 350°) längere Zeit (über 1 Stunde) aussetzt; dadurch verliert sie vollständig ihre erworbene Lichtempfindlichkeit.

Auch die folgende Wahrnehmung mag hier Erwähnung finden. Sie wurde mit einer Platte gemacht, die ich aus einem Vorratsstück abgespaltet, dann hoch erhitzt und darauf in der bekannten Weise für Ladungsversuche hergerichtet hatte. Sie zeigte, sofort im Dunkeln untersucht, eine etwa zweifache L.-F. und ein verhältnismäßig langsameres Ansteigen der Polarisation im Vergleich zu der „älteren“ Platte, sonst aber nichts Auffälliges. An den folgenden Tagen wurden mit der Platte noch einige Ladungsproben gemacht, deren Mitteilung überflüssig ist, weil sie auf das Folgende nach an anderen Platten gemachten Erfahrungen keinen Einfluß ausgeübt haben können. Der uns hier interessierende Versuch begann

mit einer X-Bestrahlung von einer Minute Dauer und einer sofort folgenden 3 Minuten lang dauernden · Ladung mit +900 Volt im Dunkeln. Nach Ablauf dieser Zeit setzte bei fortgesetzter Ladung eine höchstens 2 Sekunden dauernde Beleuchtung mit der etwa 70 cm entfernten Nernstlampe ein, die, wie zu erwarten war, den Lichtzeiger rasch über die Skala hinausführte, d. h. für diese kurze Zeit einen sehr kräftigen Strom zustande brachte. Verdunklung und Erdung folgten, und 3 Minuten später wurden, in der Absicht etwas über den Polarisationszustand der Platte zu erfahren, +100 Volt im Dunkeln angelegt. Es ergaben sich in der folgenden Beobachtungszeit von 3 Minuten *im Dunkeln* geringe, aber unzweifelhaft positive Ausschläge, aus denen auf das Vorhandensein einer Polarisation von weniger als -100 Volt geschlossen werden mußte. Als nun aber bei fortgesetzter Ladung mit +100 Volt plötzlich das *Licht* der Nernstlampe zugelassen wurde, bekam ich unerwarteterweise anfangs sehr kräftige, mit der Zeit aber an Stärke abnehmende negative Ausschläge, die nach etwa 45 Sekunden in positive übergingen, deren Stärke innerhalb von 4 Minuten zuerst zu, dann aber abnahm. Bei folgender Erdung ergaben sich sowohl im Dunkeln, als auch bei Beleuchtung negative Ausschläge und später bei nochmaliger Ladung mit +100 Volt in normalerweise bei hell und dunkel positive Ausschläge. Das Auffallende an diesem Versuch ist nun offenbar, daß ich bei der Probe auf Polarisation mit +100 Volt *im Dunkeln* positive, bei Beleuchtung aber negative, allmählich in positive übergehende Ausschläge erhielt, und es entsteht die Frage, weshalb zeigte sich die von dem kurz dauernden mit +900 Volt in der beleuchteten Platte erzeugten Strom herrührende Polarisation bei der Probe mit +100 Volt *im Dunkeln* kleiner als -100 Volt, in der beleuchteten Platte dagegen viel größer, so daß die angelegte Spannung leicht von ihr überwunden wurde. Daß unbekannt gebliebene Fehler in der Versuchsanordnung nicht die Ursache gewesen sind, bewies ein später mit der gleichen Platte wiederholter Versuch, der dasselbe Resultat sogar in noch mehr ausgeprägter Weise lieferte, was wohl dem Umstand zuzuschreiben ist, daß vor dem Ladungsversuch mit geringer Spannung durch eine längere Ladungsdauer eine noch kräftigere Polarisation erzeugt worden war als beim ersten Versuch.

Das vorhin S. 100 mitgeteilte Ergebnis von Versuchen über den Einfluß der Temperatur auf die L.-F. des beleuchteten, vorher X-bestrahlten NaCl führt zu der Anschauung, daß die Beleuchtung in der Platte Elektrizitätsträger frei oder jedenfalls beweglicher macht, die nicht der gleichen Art sind, oder die nicht der gleichen Verbindung angehörten, wie diejenigen, welche in einer nicht bestrahlten Platte bei der Elektrizitätsbewegung eine Rolle spielen. Der zuletzt besprochene Versuch hat mich in dieser Anschauung bestärkt, indem es mir möglich erscheint, mit ihrer Hilfe das obige Ergebnis zu verstehen. In dem verdunkelten NaCl wurden von der angelegten Spannung Elektrizitätsträger von anscheinend anderer Beschaffenheit oder Herkunft in Bewegung versetzt als in dem beleuchteten.

ad c) Unter c) ist die auch an vielen anderen Platten beobachtete Erscheinung der Erholung, die eine beleuchtete, vorher X-bestrahlte Platte bei fortgesetzter Ladung erfährt, wenn sie eine Zeitlang verdunkelt wird, an einem Beispiel beschrieben. Ich möchte noch einen zweiten Versuch mit der gleichen Platte hier anführen, bei dem die Erscheinung etwas eingehender untersucht wurde. Auf S. 92 ist mitgeteilt, daß die Platte 15 Sekunden lang bestrahlt und gleich darauf im Dunkeln mit etwa 1500 Volt und erst nach etwa 24 Stunden mit einer Nernstlampe beleuchtet wurde. Sie hatte mit zugeschaltetem Kondensator von 0,07 M.-F. in den ersten 5 Sekunden nach Eintritt der Beleuchtung einen Ausschlag von 25 Skalenteilen (dem ein Ausschlag von etwa 6750 Skalenteilen ohne Kondensator entsprechen würde), gegeben, der bei dauernder Ladung und Beleuchtung im Verlauf von 23 Minuten allmählich auf 1,2 Skalenteile in 30 Sekunden gesunken war. Darauf wurde die Platte immer bei dauernd angelegter Ladung während 48,5 Minuten verdunkelt, und als nun wieder plötzlich die Beleuchtung einsetzte, lieferte sie zu Anfang nicht etwa den zuletzt gefundenen Ausschlag von 1,2 Skalenteilen, sondern einen beträchtlich größeren, nämlich 12 Skalenteilen in 30 Sekunden. Sie hatte sich somit in der 48,5 Minuten währenden Dunkelheit bei unveränderter angelegter Spannung wesentlich „erholt“; erst nach etwa 10 Minuten fortgesetzter Beleuchtung und Ladung war sie wieder bei 1,2 Skalenteilen Ausschlag angelangt. Zu Anfang

dieser 10 Minuten war die Abnahme der Stromstärke rascher als in dem Augenblick, wo die Stromstärke vor der Verdunklung beim Ladungsversuch auch 12 Skalenteile in 30 Sekunden betrug, so daß auch in dieser Beziehung der zeitliche Verlauf der Stromstärke sich nicht direkt an den zuletzt bei Beleuchtung beobachteten anschloß. Eine Erholung zeigte sich nicht mehr merklich (nicht einige Zehntel Skalenteile), nachdem die Platte bei Fortsetzung des besprochenen Versuchs 14 Tage lang dauernd beleuchtet und mit etwa 1600 Volt Spannung versiehen geblieben war und ihre Aktivität dadurch wieder verloren hatte. (Sie lieferte bei „hell“ und „dunkel“ gleichviel, etwa 1,5 Skalenteile in 7 Minuten ohne Zusatzkondensator). Da ich bei andern Versuchen fand, daß die Erholung ebenfalls kaum merklich auftrat nach einer verhältnismäßig kurz vorangegangenen Beleuchtung der geladenen Platte, so ist zu schließen, daß in jedem Fall bei einer gewissen Dauer von Ladung und Beleuchtung die Erscheinung am stärksten hervortreten wird, was auch mehrfach bestätigt werden konnte.

Zu vermuten ist, daß die Erscheinung der Erholung auch bei einer Entladung eintreten wird, d. h. nach Verdunklung einer X-bestrahlten NaCl-Platte, die eine Zeitlang bei Beleuchtung einen Polarisationsstrom geliefert hatte. Das traf in der Tat auch in recht merklicher Weise zu, wenn die Lichtempfindlichkeit der Platte nicht durch zu lang vorhergehende Beleuchtung zu stark herabgesetzt worden war.

Wenn eine Erholung im Dunkeln eintritt, so wird man wohl erwarten, aber nicht mit voller Sicherheit ohne weiteres angeben können, daß eine „Ermüdung“ der geladenen Platte während der vorhergehenden Beleuchtung stattgefunden hat und es fragt sich, ob eine solche Erscheinung direkt nachweisbar ist. Sie müßte sich natürlich in einer zeitlichen Abnahme der Stromstärke äußern; eine solche Abnahme ist, wie bekannt, auch immer vorhanden, sie wurde aber bisher einer wachsenden Polarisierung zugeschrieben und wenigstens zum Teil mit Recht, denn sonst hätte eine folgende Erdung keinen Entladungsstrom ergeben können. Es könnte aber immerhin ein Teil dieser Abnahme auf Rechnung einer Ermüdung zu setzen sein und es ist zu überlegen, ob beide von einander getrennt wahrzunehmen sind. Man könnte vielleicht denken, daß das Superpositionsgesetz zu diesem Zweck zu

verwenden sei, indem man sich sagt, wenn Ladungs-Entladungsversuche mit einer beleuchteten X-bestrahlten Platte ergeben, daß die Summe der Anfangstromstärke nach der Erdung und der zuletzt bei der Ladung erhaltenen Stromstärke kleiner ist, als die Anfangstromstärke bei der Ladung, so ist das ein Beweis für eine während der Ladung stattgehabte Ermüdung. Diese Schlußfolgerung wäre aber nicht erlaubt, denn eine Abweichung vom Superpositionsgesetz wird infolge der mehrfach erwähnten Eigenschaft des X-bestrahlten NaCl seine Lichtempfindlichkeit mit der Zeit von selbst und durch Beleuchtung beschleunigt zu verlieren, schon sowieso je nach der Ladungsdauer mehr oder weniger stark auftreten, und da wir diesen nicht rückgängig zu machenden Verlust nicht mit dem Namen „Ermüdung“ belegen wollen, so wird es unentschieden bleiben müssen, ob eine wirkliche Ermüdung an dem Kleinerwerden der Stromstärken während der Ladung und Beleuchtung teilgenommen hat oder nicht. Anderseits kann auch ein Versuch, bei dem das Gesetz, von kleinen, durch Versuchsfehler leicht zu erklärenden Abweichungen abgesehen, zutrifft — beide Fälle kommen vor — kein Beweis dafür sein, daß es überhaupt keine Ermüdung gibt, denn wenn das Gesetz sich in der angegebenen Weise als gültig erweisen soll, so darf wieder wegen der Abnahme der Lichtempfindlichkeit der Ladungsversuch nur kurz dauern und dann ist, wie oben mitgeteilt wurde, die Erholung, folglich auch wohl die gesuchte Ermüdung so gering, daß sie leicht der Wahrnehmung entgehen könnte. Auch fand ich keinen andern Weg, um bei X-bestrahltem NaCl zu einer Entscheidung über diese Frage zu gelangen; um so erfreulicher ist es, daß sich bei blauem NaCl mit Gewißheit das *Bestehen der vermuteten Ermüdung während der Beleuchtung* hat nachweisen lassen (vgl. S. 159).

ad d) Auf S. 89 wurde aus dem in einem bestimmten Falle beobachteten Nichteintreffen des Superpositionsgesetzes gefolgert, daß die Lichtempfindlichkeit einer X-bestrahlten Platte während der stattgefundenen Beleuchtung abnimmt. Dieses Mittel zur Erkennung einer solchen Abnahme ist aber keineswegs das einzige, es ist sogar nicht einmal das sicherste, und dessen Erwähnung geschah nur deshalb, weil sich die betreffende Beobachtung an die Reihe der übrigen mit der „älteren“ Platte gemachten zeitlich anschloß. Die von

selbst stattfindende zeitliche Abnahme der Lichtempfindlichkeit zeigte sich am einfachsten an Platten, die längere Zeit nach ihrer X-Bestrahlung unbenutzt geblieben waren. Wurden die Platten im Dunkeln aufbewahrt, so konnte der Einfluß einer X-Bestrahlung noch nach Jahren durch ihr Verhalten bei einem Ladeversuch, d. h. durch die Reste ihrer Lichtempfindlichkeit, nachgewiesen werden; waren die Platten während ihrer Ruhepause dem Licht, z. B. dem Tageslicht, ausgesetzt, so verschwand ihre Lichtempfindlichkeit in kürzerer Zeit. *Beleuchtung beschleunigt somit die von selbst verlaufende Abnahme der Lichtempfindlichkeit.* Ob auch der „Strom“ eine beschleunigende Wirkung ausübt, muß vorläufig noch unentschieden bleiben. Sicher aber ist, daß eine Temperaturerhöhung die Abnahme der Lichtempfindlichkeit beschleunigt. Zu einer raschen Vernichtung der Lichtempfindlichkeit, gleichzeitig zur Beseitigung von Nachwirkungen, von Polarisation usw., gibt es deshalb, wie schon oben kurz erwähnt, ein sicheres Mittel: starke, nicht zu kurz dauernde Erhitzung des NaCl. Nach den gemachten Erfahrungen wird dadurch das Material jedesmal wieder in den gleichen — sagen wir natürlichen — Zustand zurückversetzt. Einige Einzelheiten über dieses Verfahren mögen hier angegeben werden. Zum Zwecke der Erhitzung auf etwa 350°, die klares Steinsalz gut verträgt, wurde die Platte in Aluminiumfolie eingewickelt und von trockenem Sand umgeben, in einen Heräusofen gebracht. Man ließ die Temperatur langsam bis zur angegebenen Höhe steigen, hielt sie darauf etwa eine gute Stunde lang unverändert und schaltete dann den Heizstrom aus, so daß eine langsame Abkühlung auf Zimmertemperatur eintrat. Um die Platte für folgende Ladungsversuche verwendbar zu machen, muß sie natürlich frisch graphitiert und mit der Glyzerinsalzlösungelektrode versehen werden; das Abschleifen mit Alkohol und Bimsstein geschieht zweckmäßig vor der Erhitzung. Zur Anwendung kam das Verfahren nur in verhältnismäßig wenigen Fällen; es ist etwas umständlich, weil die Belegungen dabei, wie gesagt, immer wieder neu hergestellt werden müssen.

An dieser Stelle sei noch erwähnt, daß der Zustand der X-bestrahlten Platte, den wir wiederholt „Polarisation“ nannten, sich erfahrungsgemäß ebenfalls sehr lange Zeit erhalten kann, wenn die Platte im Dunkeln, wenn auch mit beiderseits zur

Erde abgeleiteten Elektroden, aufbewahrt bleibt. Ob eine X-bestrahlte Platte ganz polarisationsfrei geworden ist, ist nicht immer mit Sicherheit zu entscheiden. Es kann z. B. ein geringer Betrag von bei Beleuchtung erworbener Polarisation nach längerer Zeit noch vorhanden sein, auch wenn das Elektrometer davon sogar bei Beleuchtung der Platte nichts, wenigstens innerhalb von wenigen Minuten anzeigt; denn das Fehlen eines entsprechenden Ausschlages kann leicht daher kommen, daß die Lichtempfindlichkeit unterdessen verschwunden ist. Eine solche, gewissermaßen „versteckte“ Polarisation kann sich dann aber bei einem folgenden Ladungsversuch, der mit der nachträglich nochmals X-bestrahlten Platte während ihrer Beleuchtung vorgenommen wird, dadurch bemerkbar machen, daß dieser Versuch auffallend kleine Stromstärken liefert; wenigstens kann ich nur in dieser Weise einige auffallende und störende Unstimmigkeiten, die während der Untersuchung vorkamen, deuten. Durch einen besonderen, zu diesem Zwecke angestellten Versuch konnte ich jedenfalls nachweisen, daß eine kräftige X-Bestrahlung eine nachweisbar noch vorhandene Polarisation nicht etwa vernichtete. (Vgl. auch den auf S. 108 mitgeteilten Versuch.)

#### **Einfluß einer Ra-Bestrahlung auf die L.-F. des Steinsalzes.**

Es war zu erwarten, daß die  $\gamma$ -Strahlung des Ra ähnlich wirken würde wie eine X-Strahlung. Da jene sich vorteilhaft von dieser durch ihre Konstanz unterscheidet, bestand anfänglich die Hoffnung, mit der Ra-Strahlung über einzelne Erscheinungen, die sich wegen der Inkonstanz der X-Strahlung der eingehenden Beobachtung bisher entzogen, etwas mehr Aufschluß zu erhalten. Zunächst wurden einige Probeversuche mit einigen Milligrammen RaBr gemacht, das in einem Gläsern eingeschmolzen war. Das Röhrchen wurde mit seinem unteren Ende, in dem das Ra-Präparat angesammelt war, einfach in die Salzglyzerinlösung der oberen Elektrode der zu untersuchenden Steinsalzplatte eingelegt. Um während der Bestrahlung überhaupt beobachten zu können, war der dem Ra am meisten benachbarte Teil der Elektrometerleitung gegen Strahlung durch einen Bleiklotz folgender Konstruktion möglichst geschützt. Ein runder, oben und unten mit angelötetem Platinblech versehener Bleikonus war in eine 1 cm

dicke, 4 : 4 cm große Bleiplatte mittels Paraffin isoliert eingesetzt. Auf ihm lag mit ihrer Graphitelektrode die Steinsalzplatte; die untere Konusfläche stand in der früher angegebenen Weise mit der Elektrometerleitung, die, so weit wie möglich, in Paraffin eingegossen war, in Verbindung; auch war die untere Fläche der NaCl-Platte bis auf die Elektrode mit Paraffin überzogen, um namentlich den Isolierstreifen gegen ionisierte Luft zu schützen. Trotz dieser Vorrangungen war die Isolation der Leitung und der damit verbundenen Teile sehr wenig befriedigend; auch schützte die Bleiverkleidung des großen Blechkastens die Elektrometernadelladung nicht genügend gegen die durchdringende Radiumstrahlung, so daß das Elektrometer unliebsam davon beeinflußt wurde.<sup>1)</sup> Infolgedessen wurden mit Ra-Strahlen nur wenig Versuche angestellt, und ging die gehetzte Hoffnung nicht in Erfüllung; die Versuche reichten aber gerade aus, um die Ergebnisse einiger Versuche mit X-Strahlen zu bestätigen und etwas zu ergänzen. Auf eine ausführliche Mitteilung darf ich wohl verzichten und mich auf folgende kurze Angaben der Ergebnisse beschränken.

Die Ra-Strahlung vermehrt die L.-F. des NaCl auch im Dunkeln, und zwar konnte jetzt leicht nachgewiesen werden, daß diese Vermehrung sowohl während der Bestrahlung, als auch nachher (als „Nachwirkung“) vorhanden ist. Von Zeit zu Zeit durch kurzes Anlegen der Ladung gemachte Proben zeigten, daß die L.-F. im Dunkeln sich bei fortgesetzter Bestrahlung im Verlaufe der Zeit zuerst rasch, dann aber immer langsamer vermehrt, so daß ich zuletzt ihr Anwachsen während 24 Stunden nicht mehr wahrnehmen konnte. Nach Entfernung des Ra verschwand die erworbene L.-F. allmählich sowohl im Dunkeln, als auch bei Beleuchtung; im letzten Falle aber rascher.

Bei andauernder Bestrahlung und Ladung im Dunkeln nimmt, wie bei der X-Bestrahlung, die Stromstärke allmählich ab. Dementsprechend bildet sich auch während der Bestrahlung eine Polarisation, die sich bei folgender Erdung als Polarisationsstrom bemerkbar macht und dem Super-

1) Eine Verbesserung dieser Versuchsanordnung, die ja möglich gewesen wäre, hätte eine wesentlich andere Aufstellung benötigt, und dazu konnte ich mich bis jetzt noch nicht entschließen.

positionsgesetz zu folgen scheint. Eine weitere Untersuchung der Verhältnisse, die unter den angeführten Bedingungen — fortgesetzter Bestrahlung und Ladung — eintreten, wäre m. E. sehr erwünscht.

Durch die Ra-Strahlung wird das NaCl für eine Zeitlang lichtempfindlich. Eine Beleuchtung mit dem Licht der Nernstlampe vermehrte sowohl während der Ra-Bestrahlung, als auch nachher die L.-F. sehr bedeutend. Daß sich bei einem Versuch die Stromstärke im ersten Falle wesentlich kleiner als im zweiten Falle, d. h. nach Entfernung des Ra-Röhrchens von der Platte ergab, hat wohl seinen Grund darin, daß das Röhrchen die nächstliegenden und deshalb am stärksten lichtempfindlich gemachten Stellen während der Beleuchtung beschattete, und daß die Isolation nach Entfernung des Ra wesentlich besser war als vorher. Die für die Auffassung der Vorgänge während des Stromdurchgangs bedeutsame Frage, ob die Stromträger, die im Dunkeln, bzw. bei Beleuchtung tätig sind, qualitativ dieselben sind oder nicht, konnte ich wegen der durch die schlechte Isolation bedingten Unsicherheit in den Messungen leider einer Beantwortung nicht näher bringen. Natürlich darf man die Tatsache, daß, wie erwähnt, die im Dunkeln anfänglich stattfindende Vermehrung der L.-F. nach einiger Zeit allmählich aufhört, während eine dann einsetzende Beleuchtung einen kräftigen Strom zustande bringen kann, nicht als eine endgültig bejahende Antwort auf diese Frage ansehen. Eine genügend genaue Messung des Temperatureinflusses konnte aus den angegebenen Gründen ebenfalls nicht ausgeführt werden.

#### **Einfluß von Quecksilberlicht auf die L.-F. des Steinsalzes.**

Daß das Licht einer Nernstlampe nicht merklich auf unbestrahltes NaCl wirkt, ist bereits oben erwähnt; auch von dem Sonnenlicht, wie es uns zur Verfügung stand, konnte keine die Platte empfindlich machende Wirkung beobachtet werden; dagegen übt nach dem Vorangehenden eine X- und  $\gamma$ -Bestrahlung eine solche Wirkung aus. Es sollte nun die Frage beantwortet werden, ob nicht vielleicht auch die kurzwellige Strahlung, die von einer Quarzglas-Quecksilberlampe ausgeht, in ähnlicher Weise wie die X-Strahlung imstande ist, auf das NaCl zu wirken. Ich gebe zunächst das Ergebnis

von Versuchen an, die mit den beiden oben mehrmals erwähnten gleich geformten, aus einem Stück Steinsalz abgespaltenen Platten gewonnen wurden. Die eine davon — sie sei mit Nr. V bezeichnet, die andere mit Nr. IV — war vor ihrer Belegung in der oben angegebenen Weise stark erhitzt worden. Nachdem das Verhalten beider, in je einem Kästchen aufgestellten Platten sich im Laufe von ein paar Tagen sowohl im Dunkeln, als mit Nernstlampen- und Sonnenbeleuchtung bei 900 Volt Ladung im wesentlichen gleich gezeigt und ihre Anfangs-L.-F. sich etwa doppelt so groß als die der „älteren“ Platte erwiesen hatte (vgl. S. 85), wurde nach einer Ruhepause von etwa 2 Tagen, während denen die Belegungen beider Platten geerdet waren, mit der Quecksilberbeleuchtung angefangen. Die Herauslampe stand zunächst seitlich vom Kästchen, das die Platte Nr. V enthielt, so daß das Licht mittelst eines auf die obere, von dem Glasverschluß befreite Kästchenöffnung gesetzten, total reflektierenden Quarzprismas zu dieser Platte geführt werden konnte. Die Entfernung zwischen Lampe und Platte betrug etwa 30 cm; die möglichst dünne Glyzerinkochsalzelektrode ist für einen großen Teil der Quecksilberbestrahlung durchlässig.

Ein erster Vorversuch fand mit geerdeter Platte statt; ein der Hg-Beleuchtung zuzuschreibender Ausschlag des Elektrometers war innerhalb einer Minute nicht zu erkennen. Bei einem zweiten Vorversuch war die obere Plattenbelegung durch Herausnehmen des Bügels aus dem Kommutator, der die Verbindung der Belegung mit der Erde, bzw. mit der Hochspannung vermittelt, isoliert: Es ergab sich ein Elektrometerausschlag von 1,0 Skalenteilen in einer Minute, eine Aufladung mit positiver Elektrizität andeutend. Die Ursache dieser Aufladung ist wohl in der von Elster und Geitel bei NaCl beobachteten, vielleicht auch dem Glyzerin oder anderen benachbarten Teilen der Leitung zukommenden lichtelektrischen Erregbarkeit zu suchen.

Nun folgten zwei in gewohnter Weise ausgeführte Ladungs-Entladungsversuche von geringer (einige Minuten) Versuchsdauer. Der erste mit Hg-Beleuchtung, der zweite im Dunkeln. Beide verliefen ganz regelmäßig und in ihren Ergebnissen untereinander vollständig übereinstimmend, so daß ich aus diesen Versuchen schließen mußte, daß eine Hg-Beleuchtung

ebenso wie Nernst- und Sonnenlicht nicht imstande ist, NaCl merklich zu aktivieren. Eine Nachprobe mit Nernstbeleuchtung schloß sich nicht an, weil anzunehmen war, daß eine Lichtempfindlichkeit, wenn vorhanden, sich schon bei der Hg-Beleuchtung gezeigt haben würde.

Auf diese Versuche folgten ein paar Tage später Versuche mit der Schwesterplatte Nr. IV, die nicht vorher erhitzt worden war. Ein Ladungs- und Entladungsversuch im Dunkeln verlief wieder wie bei der anderen Platte<sup>1)</sup>, als aber an die beleuchtete Platte die Spannung von 900 Volt angelegt wurde, erhielt ich bei fortgesetzter Beleuchtung wesentlich größere Stromstärken als vorher und als mit der Platte Nr. V unter gleichen Umständen, und die zeitliche Abnahme der Stromstärke während des Versuchs war verhältnismäßig viel geringer als vor der Hg-Beleuchtung. Folgende Tabelle enthält einige der beobachteten Werte.

Tabelle XIV.

Zeit	1—16	16—31	31—46	46—61	
	Sek.	Sek.	Sek.	Sek.	
Aus-	{ Vor der Hg-Belichtung . . .	6,9	2,5	1,7	1,3
schläge	{ Während der Hg-Belichtung	17,5	11,8	11,7	11,3
	Differenz	10,6	9,3	10,0	10,0
Zeit	61—76	106—121	121—136	136—151	
	Sek.	Sek.	Sek.	Sek.	
Aus-	{ Vor der Hg-Belichtung . . .	1,0	0,6	0,6	0,5
schläge	{ Während der Hg-Belichtung	10,7	9,5	9,0	9,0
	Differenz	9,7	8,9	8,4	8,4

Wir treffen somit eine ähnliche Veränderung im zeitlichen Verlauf der Stromstärke an, wie die, die die verdunkelte „ältere“ Platte kurz nach ihrer X-Strahlung zeigte, d. h. die Quecksilberbeleuchtung vermehrte die L.-F. nicht in der Weise, daß jeder in 15 Sekunden bei der unbelichteten Platte beobachtete Elektrometerausschlag in einem für alle Ausschläge gleich bleibenden Verhältnis vermehrt wurde, sondern so, daß zu diesen Ausschlägen ein nur langsam mit der Zeit abnehmender Betrag sich addierte (vgl. S. 84).

1) Auch diese Platte gab bei isolierter oberer Belegung und Hg-Beleuchtung eine schwach positive Aufladung des Elektrometers.

Bei der bald folgenden Erdung der oberen Plattenbelegung ergab sich ein Polarisationsstrom rasch abnehmender Stärke, und zwar von einem um ein paar Skaltenteile geringeren Betrag als dem Superpositionsgesetz entsprochen haben würde, was auf eine Verminderung der Empfindlichkeit der Platte schließen läßt. Ein folgender Versuch mit Beleuchtung mit Nernstlicht ließ eine durch das Hg-Licht erworbene Lichtempfindlichkeit nicht mit ganzer Sicherheit erkennen. Nach diesem Befund wäre nun *diese Schwesterplatte im Gegensatz zur ersten — vorher erhitzen — als etwas empfänglich für Hg-Beleuchtung zu bezeichnen.*

Dieses Ergebnis veranlaßte eine sofortige Wiederholung und Fortsetzung der Versuche mit den in ihren Kästchen verbliebenen Platten. Dabei zeigte die erste Platte (Nr. V) genau dasselbe Verhalten wie vorher. Auch bei einer jetzt nach der Hg-Beleuchtung angestellten Probe auf ihre Lichtempfindlichkeit mit Hilfe der Nernstlampe ergab sich, wie zu erwarten war, keine Aktivität. Ebenfalls ergab sich etwa eine Woche später, in welcher Zwischenzeit die Platte zu einem bestimmten Zweck einmal aus ihrem Kästchen und aus ihrer Fassung entfernt worden war, unter den gleichen Umständen dasselbe Resultat. Später wurde (mit negativer Ladung von — 900 Volt) ein Versuch gemacht, der eine noch schärfere Probe abgeben sollte; diesmal setzte nämlich die Beleuchtung erst einige Tage nach dem Anlegen der Spannung ein, als die Stromstärke im Dunkeln sehr klein geworden war und deshalb eventuell kleine Änderungen besser erkennen ließ. Es wurde zuerst, wie gesagt, mit verdunkelter Platte, dann bei andauernder Ladung mit beleuchteter Platte, aber nach Siebung der Strahlen durch eine eingeschaltete, etwa 0,2 cm dicke Glasplatte und schließlich nach Entfernung dieser Glasplatte beobachtet. Die erhaltenen Elektrometerausschläge sind:

Im Dunkeln:	1,2 Skt.
Bei gesiebter Hg-Beleuchtung:	1,7 „
Bei ungesiebter Hg-Beleuchtung:	2,8 „

} in je 4 Min.

Diese sehr geringen Stromstärken und insbesondere ihre Differenzen liegen zwar nahe an der Grenze der Meßmöglichkeit, aber ich bezweifle doch nicht, daß diesen Differenzen zwischen den Werten mit und ohne Glasplatte eine reelle Bedeutung zukommt und daß sie keineswegs Beobachtungsfehlern zuzu-

schreiben sind; ein weiterer Versuch ergab nämlich im wesentlichen das Gleiche. Deshalb aber aus diesem Versuch zu schließen, daß die von Glas absorbierbare Hg-Strahlung sich nun doch in ähnlicher Weise aktivierend wie eine X-Strahlung, wenn auch in äußerst verkleinertem Maße erwiesen hat, halte ich noch nicht für erlaubt. Denn erstens ließ sich bei einer folgenden Probe das für die Wirkung der X-Strahlung so charakteristische Merkmal nicht nachweisen, daß sie nämlich das NaCl für eine folgende Beleuchtung mit Nernstlicht empfindlich macht; zweitens sind die Differenzen der Ausschläge mit und ohne Siebung der Beleuchtung so gering (1,1 Skalenteil in 4 Minuten), daß man wieder wie bei den Versuchen mit Nernstlicht annehmen kann, daß dieser Ausschlag von der mehrmals erwähnten (S. 80) und nachgewiesenen, durch die zugesandte Strahlung bewirkten Erwärmung der unteren Graphitelektrode herröhrt.

Es folgt jetzt die Mitteilung der weiteren Untersuchung der anderen Schwesterplatte Nr. IV, die im Gegensatz zur Platte Nr. V verhältnismäßig größere Ausschläge während der Hg-Beleuchtung ergeben hatte. Nochmals wurden während einer nun etwas länger dauernden Hg-Beleuchtung (14 Min.) bei anhaltender Spannung von 900 Volt, die in je 15 Sek. erfolgenden Elektrometerausschläge gemessen. Sie betrugen zu Anfang 13,5 und am Schluß 2,9 Skalenteile. Nach Erdung der Platte erhielt ich einen rasch an Stärke abnehmenden Polarisationsstrom von 6,5 Skalenteilen Anfangsstärke. Das Superpositionsgesetz traf somit nicht zu, was wieder einer Abnahme der Aktivität zuzuschreiben ist. Ein folgender Versuch mit verdunkelter Platte ergab dasselbe wie die vorhergenden. Ein Versuch mit Nernstlicht ließ diesmal einen sehr geringen Einfluß dieser Beleuchtung erkennen. Qualitativ lieferte dieser neue Versuch somit dasselbe wie der erste, quantitativ etwas weniger. Am folgenden Tag wurden dann noch zwei Versuche gemacht, bei denen ich die Beleuchtung in gleicher Weise änderte wie bei dem letzten Versuch mit der Platte Nr. V, d. h. abwechselnd dunkel, Quecksilberlicht mit Glas, Quecksilberlicht frei. Das Ergebnis war das nach dem Vorhergehenden zu erwartende. Es zeigte sich aber noch deutlicher wie vorher, daß die Hg-Beleuchtung, wohl infolge ihrer häufigeren intensiven Verwendung und der dadurch verursachten Abnahme

der Aktivität, immer weniger wirksam geworden war. Jetzt am Schluß betragen die Elektrometerausschläge in der Zeit 1—16 Sekunden: 9,5, in der Zeit 16—121 Sekunden: 4,2 Skalenteile, also ungefähr die Hälfte von denen beim allerersten Versuch.

Es war also keine Frage, daß die Platte Nr. IV sich wesentlich anders als die Platte Nr. V verhielt. Da diese vor dem Ladungsversuch, wie schon bemerkt, stark erhitzt worden war, jene aber nicht, so lag es nahe, wieder wie bei den früheren Versuchen mit Nernstbeleuchtung (von S. 81) in dieser Verschiedenheit der Behandlung die Ursache des verschiedenen Verhaltens zu suchen, und es wurde deshalb zur Prüfung dieser Ansicht nun auch die Platte Nr. IV einer starken Erwärmung unterworfen und nachher wieder auf ihr elektrisches Verhalten bei Quecksilberbeleuchtung untersucht. Dabei ergab sich eine Bestätigung der geäußerten Vermutung: der Einfluß der Hg-Beleuchtung auf die L.-F. der Platte Nr. IV zeigte sich sehr stark verringert, wie aus den Elektrometerausschlägen hervorgeht, die wieder nach etwas längerer Ladung mit — 900 Volt erhalten wurden.

Im Dunkeln:	4,3 Skt.
Bei gesiebter Hg-Beleuchtung:	4,6 „
Bei ungesiebter Hg-Beleuchtung:	7,4 „

} in je 4 Min.

Wenn die Werte etwas größer erschienen sind als bei der Platte Nr. V, so mag das daran liegen, daß das Erhitzen der Platte Nr. IV nicht so intensiv oder so lang andauernd gewesen ist als bei der anderen, und deshalb ihre Aktivität noch nicht ganz verschwunden war. Ihre ursprüngliche Aktivität verdankte die Platte wohl einer überall verbreiteten Ra-Strahlung oder dem Vorhandensein von sehr wenigen und deshalb nicht an der Farbe des Präparates erkennbaren wirksamen Teilchen, wie sie in deutlich gefärbtem Steinsalz vorkommen.

Aus den beschriebenen Versuchen mit beiden Platten gewann ich die bestimmte Ansicht, daß auch eine Hg-Beleuchtung ebensowenig wie das Licht der Nernstlampe imstande ist, die L.-F. des vorher nicht einer X- oder γ-Strahlung ausgesetzten und nicht mit natürlicher Färbung versehenen Steinsalzes in einem mit dem in der Arbeit gebrauchten Mitteln sicher nachweisbaren Betrag während der Beleuchtung zu verändern oder

*dasselbe für eine folgende Beleuchtung empfindlicher zu machen.* Die Eigenart der Wirkung der X- und Ra-Bestrahlung im Gegensatz zu der Bestrahlung mit Licht oder mit den ultravioletten Strahlen der Hg-Lampe besteht somit darin, daß erstere das NaCl für eine Beleuchtung mit sichtbarem Licht so vorbereitet (dasselbe lichtempfindlich macht, aktiviert), daß diese für sich allein nicht wirksame Beleuchtung die L.-F. nunmehr sehr stark zu vermehren imstande ist.

**Untersuchung der L.-F. des X-bestrahlten NaCl im spektral zerlegten Licht.**

Die Frage bietet Interesse, welche Bestandteile des weißen Lichtes sich an der Vermehrung der L.-F. des X-bestrahlten Steinsalzes beteiligen. Zur Beantwortung dieser Frage wurde bei einer Anzahl von Versuchen die Beleuchtung mit spektral zerlegtem Licht vorgenommen und zwar meist mit Sonnenlicht.

Ungefähr in gleicher Höhe wie die seitliche schlitzförmige Öffnung des Zinkkästchens<sup>1)</sup> hinter der die vorher X-bestrahlte Steinsalzplatte in gewohnter Weise aufgestellt war, befand sich im Fensterladen des verdunkelten Zimmers ein horizontal liegender, 0,1—0,2 cm weiter und 2—3 cm langer Spektralspalt, der das von einem Heliostaten kommende Sonnenlicht in horizontaler Richtung durchließ. Dieses unweit vom Kästchen verlaufende Lichtbündel fiel auf ein in einem Abstand von ca. 870 cm aufgestelltes großes Rowlandsches Konkavgitter (800 Linien auf das Zentimeter, Krümmungsradius 310 cm), das ein vertikales, von A—H etwa 80 cm langes Spektrum erster Ordnung am Ort der mit einem Schieber verschließbaren seitlichen Kästchenöffnung so entwarf, daß das durch diese Öffnung hindurchgehende Licht die gut eben geschliffene und polierte Randfläche der NaCl-Platte senkrecht traf und letztere somit parallel ihrer größten Ausdehnung durchdrang. Durch Drehen des Gitters um eine horizontale, den Gitterfurchen möglichst parallel gerichtete Achse konnten alle Spektralfarben zur Verwendung kommen.<sup>2)</sup> Die genaue Bestimmung der jeweils benutzten Strahlenart geschah mit Hilfe der hauptsächlichsten Fraunhoferschen Linien, die auf einem weißen über

1) a. a. O., 41. S. 454. 1913. Figur.

2) Die Verwendung von Spektralbezirken mit breiteren Fraunhoferschen Linien wurde vermieden.

und unter der Kästchenöffnung angebrachten vertikalen Millimeterstab deutlich genug, wenn auch infolge der Spaltweite nicht in vollkommenster Schärfe, sichtbar waren. Es hatte sich ergeben, daß der auf diesen Maßstab gemessene Abstand dieser Linien voneinander genügend genau dem Unterschied ihrer Wellenlängen proportional war, um aus der jeweils beobachteten Lage einer Fraunhoferschen Linie auf der Teilung mit einer für unsere Zwecke hinreichenden Sicherheit die Wellenlänge der das NaCl beleuchtenden Strahlung entnehmen zu können. Einer Wellenlängendifferenz von  $100 \mu\mu$  entsprachen 26,5 cm auf dem Maßstab.

Die Messung der Stromstärke geschah wieder durch Beobachtung der eine Sekunde nach Anlegen der Ladung auftretenden 10 bzw. 15 Sekunden dauernden Elektrometerausschläge bei geladener NaCl-Platte. Die gewünschte jedesmalige Beleuchtung wurde von einem Gehilfen durch Einstellen des Gitters erhalten; sie dauerte nur wenige Sekunden länger als der Elektrometerrausschlag, so daß die Platte sich im Dunkeln befand, während die Beleuchtung wechselte, wozu auch nur einige Sekunden Zeit nötig waren. Infolgedessen folgten die einzelnen Bestimmungen rasch aufeinander, was in Anbetracht der leicht vorkommenden Veränderungen der Sonnenintensität usw. erwünscht war. Über den Verlauf jedes einzelnen Versuches sei folgendes mitgeteilt. Zu Anfang des Versuches befand sich die geerdete Platte in ihrem verdunkelten Kästchen. Dann wurden der Reihe nach folgende Operationen ausgeführt: Einstellen des Gitters für die gewünschte Beleuchtung und Bestimmung der Lage einer Fraunhoferschen Linie auf der Millimeterteilung. — Freimachen der Kästchenöffnung. — Ablesen des Elektrometers und Anlegen der Spannung an die Platte. Eine Sekunde später Abtrennen der Erdleitung von der Quadranten-Plattenleitung. — 10 bzw. 15 Sek. nachher zweites Ablesen des Elektrometers. — Anlegen der Erdleitung an die Quadranten-Plattenleitung und an die obere Plattenbelegung. — Verdunkelung der Platte.<sup>1)</sup> Am Anfang und am Ende einer Beobachtungsreihe oder auch manchmal zwischendurch wurden Bestimmungen des Polarisationsstromes mit beleuchteter Platte

---

1) Bei späteren Versuchen wurde etwas anders verfahren (vgl. S. 181).

und ebenso des bei geladener, verdunkelter Platte sich ergebenden „Dunkelstromes“ gemacht.

Von solchen Versuchsreihen sei zunächst zur Orientierung eine mit etwas größerer Sorgfalt angestellte mitgeteilt. Die benutzte Platte hatte eine Dicke von 0,5 cm und eine Größe von 3 : 3 cm; über die Größe ihrer aus Graphit bestehenden Belegungen fand ich nichts Genaues mitgeteilt. Sie war bereits zu einigen Vorversuchen verwendet, wurde aber ein Tag vor dem in Rede stehenden Versuch nochmals 15 Minuten lang einer X-Bestrahlung ausgesetzt und gleich darauf in ihrem verdunkelten Kästchen untergebracht. Die Ladung betrug bloß ungefähr 200 Volt. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse dieses Versuches enthalten.

Tabelle XV.

Wellenlg. $\lambda$ in $\mu\mu$	716	693	670	647	624	597	577	558	549	538	530	519
Elektrom.-Ausschl. in 15 Sek.	{ 1,3	1,5	1,8	2,3	2,4	4,4	9,2	18,2	27,2	42,2	70	80
Polarisationsstrom	—	0,0	—	—	—	0,2	—	0,6	—	—	2,5	—
Dunkelstrom	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Wellenlg. $\lambda$ in $\mu\mu$	511	500	491	481	473	462	454	443	424	405	367	348
Elektrom.-Ausschl. in 15 Sek.	{ 102	122	132	137	120	117	113	77	50	24	5	2
Polarisationsstrom	—	5	4	3	4	5,5	3,5	—	—	—	—	5
Dunkelstrom	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,4

Die Werte der Wellenlängen  $\lambda$  und der Stromstärken  $S$ , letztere nach Korrektion für Polarisations- und Dunkelstrom, wurden auf Koordinatenpapier eingetragen und durch die so erhaltenen Punkte eine glatte Kurve gelegt, was nicht ohne einige Willkür geschehen konnte; in der Fig. 11 auf S. 171 findet man ein verkleinertes Bild dieser Kurve. Aus dieser Darstellung und aus der Tabelle konnten folgende Tatsachen entnommen werden. 1. Das X-bestrahlte Steinsalz ist für einen großen Bereich der Strahlen des Sonnenspektrums empfindlich. Wegen des verhältnismäßig großen Betrages von Polarisationsstrom und Dunkelstrom bei  $\lambda = 367 \mu\mu$  bzw.  $348 \mu\mu$  kann über das Verhalten des ultravioletten Lichtes keine weitere Angabe gemacht werden, als daß dessen Wirkung jedenfalls sehr gering ist. Vom Gitter wird etwas weißes Licht diffus reflektiert; die Menge, die davon zu der Platte gelangte, war jedenfalls

sehr gering. Immerhin wäre es möglich, daß die bei den größten und bei den kleinsten Wellenlängen erhaltenen kleinen Ausschläge dadurch verhältnismäßig stark beeinflußt worden sind. Ob die mit dem dunkelroten Teil des Spektrums erhaltenen kleinen Werte von den ultravioletten Strahlen des Spektrums zweiter Ordnung eventuell beeinflußt sind, muß unentschieden bleiben. 2. Eine besonders stark ausgesprochene maximale Wirkung auf die L.-F. üben Strahlen aus, deren Wellenlänge in der Nähe von  $480 \mu\mu$  liegt.

Es müssen nun insbesondere mit Rücksicht auf das Folgende zunächst die Fehlerquellen und Störungen angegeben werden, welche das Resultat dieser Versuche beeinflussen können, damit man sich über die Ursache der in der Figur hervortretenden Unregelmäßigkeiten, sowie über den Grad der Zuverlässigkeit und Verwendbarkeit einer einzelnen Versuchsreihe ein Urteil bilden kann.

Gegen die Verwendung von Sonnenlicht in der angegebenen Weise lassen sich manche Bedenken erheben, die sich auch im Laufe der Untersuchung, als sich die Ansprüche an die Genauigkeit der Ergebnisse gesteigert hatten, geltend gemacht haben. Vor allen Dingen ist in dieser Beziehung die zeitliche Veränderlichkeit der Intensität der Strahlung zu erwähnen, die nicht allein durch die Verschiedenheit der Sonnenhöhe zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten und durch den entsprechend verschiedenen Einfallswinkel des Lichtes am Heliostatenspiegel bedingt ist, sondern namentlich auch herrührt von Veränderungen in dem Zustand der Atmosphäre. Wenn Wolken am Himmel standen, wurden natürlich keine Versuche gemacht, aber auch leichte, kaum oder nicht sichtbare Schleier, sei es von Rauchteilchen oder von Nebel, übten häufig einen sehr störenden Einfluß aus. Und nicht nur die gesamte Intensität der Strahlung, sondern auch das Verhältnis der Intensitäten der einzelnen Spektralbezirke untereinander ist infolge der angegebenen Ursachen einem möglichen Wechsel unterworfen. Schließlich dürfte man, wenn der Wunsch vorliegen sollte, genauere Bestimmungen als die hier gebotenen anzustellen, nicht übersehen, daß die Zusammensetzung des Sonnenlichtes bei der Reflexion am Heliostatenspiegel eine Veränderung erfährt.

Nun hätte diesen Übelständen wenigstens bis zu einem gewissen Grade wohl abgeholfen werden können durch die Kon-

struktion und Aufstellung von Apparaten zur zeitlichen Verfolgung der Intensität und der Zusammensetzung der auf die Platte fallenden Sonnenstrahlung; allein zu diesem immerhin etwas umständlichen Mittel haben wir uns vorläufig noch nicht entschließen können. Ein anderer gangbarer Weg wäre gewesen, die Sonne durch eine konstante Strahlenquelle zu ersetzen, und im folgenden wird auch das Ergebnis einer Versuchsreihe mitgeteilt, die mit einer Nernstlampe und einem Rutherfordprisma angestellt wurde und zur Kontrolle der anderen Versuche sehr nützlich war; aber die überwiegende Anzahl von Versuchen wurde doch mit Sonnenlicht ausgeführt. Zu den Unvollkommenheiten in der Versuchsanordnung gehört noch, daß unser Heliostat trotz guter Vorbereitung manchmal nicht so tadellos arbeitete, daß die Richtung des das Gitter treffenden Strahlenbündels während einer Versuchsreihe ganz unverändert blieb, was dann leicht eine so beträchtliche Änderung der Intensität des Spektrums zur Folge hatte, daß die angefangene Versuchsreihe als unbrauchbar verworfen werden mußte. Die Breite des Spektrums am Ort der NaCl-Platte betrug wenigstens bei den letzten Versuchen ungefähr 2,5 cm, die Breite des wirksamen, beleuchteten Teiles der Platte schwankte zwischen etwa 1,0—1,3 cm und da nun die Intensität in der Querrichtung des Spektrums nicht überall die gleiche war, mußte darauf achtgegeben werden, daß die durch Drehung des Gitters bewirkte Verschiebung des Spektrums möglichst genau parallel seiner Längsausdehnung geschah. Ob auch das Intensitätsverhältnis der verschiedenen Wellenlängen untereinander durch die Drehung des Gitters keine Veränderung erlitt, mußte unentschieden bleiben. Auch muß noch erwähnt werden, daß bei der bei später zu beschreibenden Versuchen mehrmals stattgefundenen Verwendung der Glyzerinelektrode die Beleuchtung der darunter liegenden NaCl-Platte infolge der kapillaren Erhebungen an der Wand des Glaströßchens und an dem in der Mitte eingetauchten Platindraht keineswegs eine gleichförmige sein konnte, was zwar für eine Vergleichung der Ergebnisse einer Versuchsreihe untereinander von keiner wesentlichen Bedeutung war, was aber nicht übersehen werden dürfte, wenn Vergleiche über die Größe der bei verschiedenen Versuchsreihen beobachteten lichtelektrischen Wirkungen gemacht werden sollten.

Die durch die Umstände gebotene, nicht ganz einwandfreie Aufstellung des Rowlandschen Gitters und die Weite des Spaltes verhinderten das Zustandekommen eines möglichst reinen Spektrums, doch halte ich den hieraus entstehenden Fehler wenigstens mit Rücksicht auf den vorliegenden Zweck der Arbeit für unbedenklich. Die Hauptlinien des Spektrums waren, wie oben erwähnt, wenn auch nicht von erreichbarer Schärfe, so doch immer sehr deutlich erkennbar. Bei einer eventuellen Fortsetzung der Untersuchung würde es sich aber doch gewiß lohnen mit vollkommeneren Mitteln überhaupt, namentlich was die Beleuchtung anbetrifft, zu arbeiten. Die bei der vorliegenden Arbeit angewendete Versuchsanordnung hat aber, trotz ihrer Mängel, genügt, um einige bemerkenswerte Tatsachen festzustellen.

Eine weitere, unter Umständen recht bedeutende Unsicherheit wird in die Resultate hineingebracht durch folgende, zum Teil schon früher besprochene Erscheinungen.

1. Oben wurde bereits erwähnt, daß die Lichtempfindlichkeit des X-bestrahlten NaCl mit der Zeit abnimmt und zwar in beschleunigtem Maße, wenn eine Beleuchtung stattfindet. Infolgedessen werden bei einer Versuchsreihe die späteren Werte der L.-F. gegen die früheren zu klein gefunden werden müssen. Diesen Einfluß der Zeit haben wir zu verringern gesucht durch möglichste Abkürzung der Beleuchtungszeit und der Versuchszeit überhaupt, sowie durch sofortige Wiederholung einer Versuchsreihe aber in umgekehrter Richtung, was die Reihenfolge der benutzten Lichtarten anbetrifft. Auch schien es vorteilhaft, eine kräftig X-bestrahlte Platte und zwar etwa ein oder zwei Tage nach ihrer Bestrahlung zu benutzen.

2. Es hat sich, wie noch an anderer Stelle mitgeteilt werden wird, bei vielen Versuchen ergeben, daß eine Beleuchtung mit Licht kleinerer Wellenlänge nachträglich auf die L.-F. des X-bestrahlten NaCl bei nachfolgender Beleuchtung mit Licht größerer Wellenlänge sehr merklich erhöhend wirkt.<sup>1)</sup> Auch diese Erhöhung verliert sich wieder mit der Zeit, ist aber unter Umständen noch viele Stunden nach jener Belichtung zu spüren. Bei den Versuchen über die Abhängigkeit der Licht-

1) Ob auch Wellen größerer Länge die Wirkung einer nachfolgenden Beleuchtung mit kleinerer Wellenlänge beeinflussen, konnte nicht mit Sicherheit festgestellt werden.

empfindlichkeit von der Wellenlänge wird man somit mit Licht größter Wellenlänge den Anfang machen.

Man wird aber auch wegen der mit der Zeit bald verschwindenden „Nachwirkung von hell auf dunkel“ (vgl. S. 88) darauf achten müssen, daß die NaCl-Platte in der Zwischenzeit zwischen ihrer X-Bestrahlung und dem ersten Beleuchtungsversuch möglichst wenig dem Licht ausgesetzt und längere Zeit dunkel gehalten wird. Da diese vermehrende Wirkung hauptsächlich dem wirksamsten, also bei NaCl den blaugrünen Strahlen zukommt, wurde wenigstens bei den späteren Versuchen bei dem auf die X-Bestrahlung folgenden Einsetzen der Platte in das Kästchen eine rote Lampe, wie sie zu photographischen Zwecken gebraucht wird, verwendet. Auch sei noch bemerkt, daß, wenn zwei Versuchsreihen der angegebenen Art kurz hintereinander gemacht wurden, die zweite sicher von der bei der ersten verwendeten Beleuchtung mehr oder weniger beeinflußt war.

3. Es hatte sich, wie schon oben bemerkt, herausgestellt, daß nicht nur eine vorhergegangene Beleuchtung auf die L.-F. einer verdunkelten X-bestrahlten Platte in mit der Zeit abnehmendem Maße verstärkend nachwirkt, sondern, daß eine NaCl-Platte auch schon allein infolge einer stattgefundenen X-Bestrahlung eine zeitlich ähnlich verlaufende Vermehrung ihrer L.-F. im Dunkeln aufweist. Diese Einflüsse, die sich im „Dunkelstrom“ äußern, bleiben nun während eines Versuches mit aufeinanderfolgender Beleuchtung mit Licht verschiedener Wellenlänge nicht unverändert, weil sie, abgesehen von der eben erwähnten zeitlichen Abnahme, durch jede neue Beleuchtung geändert werden. Es fragt sich nun, wie dieser nach jeder bei einer mit Licht einer gewissen Wellenlänge angestellten Strommessung bestimmte Dunkelwert verwendet werden muß, um den Einfluß der betreffenden Lichtart auf die L.-F. zu erhalten. Bei der Unkenntnis des Vorganges, den wir Strom nannten, ist es nicht ohne weiteres sicher, daß man, um diesen alleinigen Einfluß richtig zu erhalten, einfach den als Dunkelwert erhaltenen Elektrometerausschlag von dem bei der folgenden Beleuchtung erhaltenen subtrahiert. In Ermangelung eines besseren wurde aber doch sehr häufig in dieser Weise verfahren.

4. Aus dem im Vorhergehenden Besprochenen ist zu entnehmen, daß jeder Strom eine Polarisation zur Folge hat. Man

wird deshalb bei den in Rede stehenden Versuchen von Zeit zu Zeit oder auch jedesmal einem Versuch mit bestimmter Lichtart eine Bestimmung der Polarisation während der Beleuchtung folgen lassen. Dazu wurde bei manchen Versuchen in früher angegebener Weise 1 Sek. nach der vorgenommenen Entfernung der Ladespannung die Erdleitung des Elektrometers aufgehoben und der darauf in 15 Sek. entstehende Ausschlag beobachtet. Nun fragt sich ja wieder, wie ist dieser Einfluß in Rechnung zu ziehen, um den richtigen Lichteinfluß auf die L.-F. zu erhalten; das Superpositionsge setz veranlaßt dazu den Polarisationsstrom zu dem Ladestrom einfach zu addieren, um den gewünschten Betrag der Lichtwirkung wenigstens einigermaßen richtig zu erhalten. Bei anderen Versuchen wurde der Polarisationsfehler in etwas anderer Weise berücksichtigt (vgl. S. 171 u. 181, blaues NaCl). Auch der Dunkelstrom ist von etwas Polarisation begleitet und deshalb wurde in einigen Fällen auch seine Polarisation gemessen und berücksichtigt.

5. Mit „Erholung“ wurde die oben gefundene Tatsache bezeichnet, daß eine Verdunklung einer dauernd geladenen Platte die L.-F. wieder heraufsetzt. Kurz dauernde Verdunklungen wirken entsprechend nur wenig und deshalb wollen wir ohne Bedenken annehmen, daß die bei den in Rede stehenden Versuchen zur Bestimmung des Dunkelstromes während 15 Sek. vorgenommene Abblendung der Beleuchtung keinen wesentlichen Einfluß auf das Resultat einer Versuchsreihe ausgeübt haben wird, wenn in der gleich unten anzugebenden Weise verfahren wurde, und wenn, was der Fall ist, die einzelnen bei einer solchen Reihe erhaltenen Ergebnisse nur untereinander verglichen werden sollen.

Ebenso konnte die „Ermüdung“, die bei Beleuchtung der stromliefernden Platte auftritt, nicht besonders beobachtet werden. Der Fehler, den „Erholung“ und „Ermüdung“ in das Gesamtergebnis einer Versuchsreihe hineinbringt, wird jedenfalls sehr vermindert werden, wenn man bei einer solchen Reihe die Spektralfarben einmal in der Folge von größeren zu kleineren Wellenlängen und gleich darauf in der umgekehrten Folge verwendet und nachher die auf beiden Wegen gefundenen Werte miteinander kombiniert, ein Verfahren, das wir schon unter 1. aus anderen Gründen als nützlich erkannten, und das

natürlich dazu beiträgt, auch den Einfluß der übrigen Fehlerquellen zu vermindern.

6. Schließlich muß wiederholt noch als Quelle von Unsicherheiten angegeben werden, daß die Elektrometerablenkungen wieder meistens am bewegten Lichtzeiger der Nadel beobachtet wurden, und weiter, daß die genau einzuhaltende Dauer eines solchen Ausschlagess nur 10 bzw. 15 Sek. betrug.

In Anbetracht aller dieser Fehlerquellen wird man gut tun, das gewonnene Beobachtungsmaterial wenigstens hauptsächlich nur zur Erledigung der meines Erachtens zunächst auch wichtigsten Frage nach der Lage der maximalen lichtelektrischen Wirkung im Gebiet der Wellenlängen zu verwenden. Diese Aufgabe dürfte, wie wir sehen werden, auch eine befriedigende Lösung gefunden haben.

Es folgt die Mitteilung von Versuchen, bei denen die Steinsalzplatte mit Rücksicht auf eine andere noch zu erledigende Aufgabe, von der später die Rede sein wird, etwas anders vorbereitet war als bisher beschrieben. Die 1,6 : 1,7 : 0,24 cm große, 60 Minuten lang X-bestrahlte Platte war auf ihrer oberen Seite ganz mit Graphit bedeckt, auf ihrer unteren Seite dagegen an zwei in der Richtung der Beleuchtung hintereinander gelegenen Stellen (I, II der nebenstehenden Fig. 4) mit 1,2 : 0,7 cm großen Graphitbelegungen und Schuttringen versehen. In der früher beschriebenen Weise wurde sie in einem der an der Blechkammer befestigtem Kästchen aufgestellt; ihre obere Belegung konnte



Fig. 4.

eine Ladung von 500 Volt erhalten, und je eine der unteren Belegungen stand, mit der anderen abwechselnd, mit der Elektrometerleitung bzw. mit der Erde in Verbindung, so daß jede der beiden Stellen rasch nacheinander auf ihre L.-F. bei Beleuchtung mit einer bestimmten Lichtart geprüft werden konnte. Die dabei eingehaltene Reihenfolge der Benützung der beiden Teile war: I, II, I; als Stromstärke ( $S_i$ ) in I galt das Mittel aus der ersten und der dritten dieser Messungen. Die folgende Tab. XVI enthält diese Werte.

Nachdem die Aufstellung der Platte in der Weise geändert worden war, daß nunmehr das wirksame Licht in der umgekehrten Richtung (von II nach I) verlief, erhielt man mit ihr die Resultate der Tab. XVII.

Tabelle XVI.

Wellenlänge $\lambda$	550	512	493	473	454	434	415	395	376	355	415	434	454	473	493	512	531	550	567
Dunkelstrom	1,7	2,0	3,0	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,4	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0	
Polarisationsstrom	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1	4,5	4,5	4,5	4,5	
beob. Stromstärke $S'_I$	9,7	42,5	81,0	93	81,5	65	28	16,7	6,4	16,2	46,2	70,3	77,3	51,5	35,0	21,4	14,7		
korr. Stromstärke $S''_I$	8,0	41,0	79,0	91,5	79,5	53,5	26,4	15,0	4,7	14,3	25,4	44,5	69	76,8	72,7	51,2	33,7	20,9	
Dunkelstrom	1,7	2,0	3,0	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	5,0	5,0	5,0	
Polarisationsstrom	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,0	3,0
beob. Stromstärke $S'_II$	9,0	34,5	57	61	55	40	22,5	15	6,3	14,5	22,5	34,5	50	56	59,5	47	32,5	21,0	
korr. Stromstärke $S''_{II}$	7,3	32,8	54,6	58,9	52,2	37,5	19,9	12,3	3,6	11,6	19,5	31,7	47,5	53,7	57,5	45,2	30,7	19,0	
$100 \cdot \frac{S'_I - S'_{II}}{S'_I}$	9	18	31	36	34	30	25	18	23(1)	19	23	29	31	30	21	12	9	9	
$E$	72	66	61	55	48	38	29	20	12	20	29	38	48	55	61	66	70	72	
$100 \cdot \frac{S'_I}{E}$	11	62	130	166	141	91	75	39	72	88	117	144	140	118	78	48	29	20	

Tabelle XVII.

Wellenlänge $\lambda$	586	544	501	459	416	374	374	395	416	438	459	480	501	523	544	566
Dunkelstrom	1,2	2,1	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6
Polarisationsstrom	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,5	1,6	1,6	1,9	2,2	2,3	2,5	2,8	3,0	3,0
beob. Stromstärke $S'_{II}$	4,0	14,6	59,0	71,0	21,0	4,0	9,2	20,3	43,3	62,5	52,0	44	28	15,7	8,8	8,8
korr. Stromstärke $S''_{II}$	2,8	12,8	56,6	68,9	19,1	2,3	7,5	18,6	41,9	61,3	50,9(1)	43	27,3	15,1	8,2	8,2
Dunkel- und Polarisationsstrom wie oben																
beob. Stromstärke $S'_I$	4,5	13,8	48	51	17,7	4	8,8	18,2	33,7	47	36	38	25,5	15,1	8,9	8,9
korr. Stromstärke $S'_I$	3,3	12,0	45,6	48,9	15,8	2,3	7,1	16,5	32,3	45,8	34,9(1)	37	24,8	14,5	8,3	8,3
$100 \cdot \frac{S''_{II} - S'_I}{S''_{II}}$	0	6	20	30	17	0	5	11	23	25	31(1)	14	9	4	0	0

1) Wohl infolge eines Verschens beim Versuch fallen die beiden  $S$ -Werte dieser Kolumne, wie insbesondere die Kurven zeigen, ganz aus der Reihe der andern heraus; sie werden im folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Zu diesen Tabellen sei zunächst folgendes kurz bemerkt: Die verschiedenen Lichtarten kamen in der Reihenfolge zur Verwendung, wie sie in den Tabellen von links nach rechts gelesen, angegeben ist. Die Bestimmung des Dunkelstroms wurde nicht regelmäßig vor jedem Beleuchtungsversuch, sondern nur von Zeit zu Zeit vorgenommen und die übrigen Werte durch Interpolation berechnet; gleiches ist von dem Polarisationsstrom zu sagen. Die in dieser Beziehung verbleibende Unsicherheit hat aber für die Beantwortung der Frage nach der Lage der maximalen L.-F. auf die Wellenlängenskala keine wesentliche Bedeutung gehabt. Natürlich sind wieder die kleineren Werte der Stromstärke mit Vorsicht zu verwenden.

Die Werte der von den vier Beobachtungsreihen gelieferten korrigierten Stromstärken ( $S'_1, S'_{11}$  der Tabelle) wurden wieder

mit den zugehörigen Wellenlängen auf Koordinatenpapier eingetragen und zur Konstruktion von  $\lambda, S$ -Kurven verwendet. Sie sind mit diesen

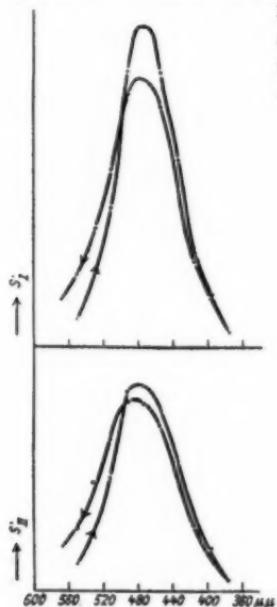


Fig. 5a u. b.

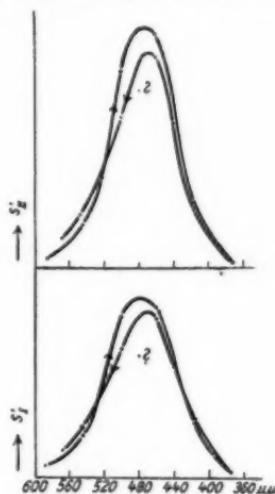


Fig. 6a u. b.

Kurven zur Veranschaulichung des Versuchverlaufes in kleinem Maßstab als die wirklich gebrauchten in den Figg. 5a, b

und 6 a, b dargestellt; für die Beantwortung der Frage nach der Lage der maximalen Lichtwirkung wurden drei- bis vierfach größere Darstellungen verwendet.

Nehmen wir nun noch die Kurve der Fig. 11, die die Ergebnisse des beschriebenen ersten Versuchs mit spektralzerlegtem Licht enthält, hinzu, so erkennt man trotz einzelner aus der Zeichnung am besten zu entnehmenden Unregelmäßigkeiten, daß in allen neun Fällen ein ausgeprägtes, nahezu an der gleichen Stelle auf der Wellenlängenachse gelegenes Maximum der lichtelektrischen Wirkung gefunden wurde. Die Kurven sind freilich, namentlich in ihrem obersten Teil, nicht ohne einige Willkür gezogen, doch konnte ich den wegen Raumersparnis hier nicht wiedergegebenen, in größerem Maßstab ausgeführten Zeichnungen mit genügender Sicherheit entnehmen, daß die Maxima bei folgenden Wellenlängen liegen.

Aus der Kurve nach:

Tab. XV

Tab. XVI

Tab. XVII

$\lambda_{\max.} = 480$       477, 478 · 477, 485      474, 465 · 479, 472  $\mu\mu$

Es ist noch zu beachten, daß die beiden extremen Werte den in ihren obersten Teilen unsichersten Kurven entnommen wurden.

Eine weitere, zu dem gleichen Zweck ausgeführte Versuchsreihe verdient noch mitgeteilt zu werden. Bei ihr kam das prismatisch zerlegte Licht einer Nernstlampe zur Verwendung und waren auch sonst noch einige andere Versuchsanordnungen getroffen. So fand z. B. die Beleuchtung der Platte nicht von der Seite, sondern durch eine Glyzerin-Salzelektrode von oben statt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle enthalten und wieder in kleinerem Maßstab in der Fig. 7 dargestellt.

Bei einem Vergleich mit den vorhin besprochenen Kurven fällt die Form und die Lage der Kurve, insbesondere die des im Gebiet der kleineren Wellenlängen gelegenen Teiles auf. Dieser Unterschied kann seinen Grund vielleicht in einer Verschiedenheit der Versuchsanordnungen haben; jedenfalls aber ist er mitbedingt durch die Verschiedenheit der Energieverteilung im prismatischen Spektrum des Nernstlichtes und

Tabelle XVIII.

Wellenlänge $\lambda$ in $\mu\mu$	430	435	445	455	470	490	525	570	625	695	785
Elektrometeraus-schlag in 10 Sek. Stromstärke $S$	8,0	11,8	22,8	50	98	152	169	106	36,2	18,0	10,3
Polarisations-strom $P$	0,6	0,4	0,8	2,5	6,0	12,0	11,8	7,2	1,7	0,8	0,2
Dunkelstrom $D$	7,0	9,8	8,7	8,0	9,0	13,0	13,5	9,1	8,1	10,7	8,4
Dunkelstrompolaris-tionstrom $p$	—	—	—	—	—	—	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
$S + P - D - p = S'$	1,6	2,4	14,9	44,5	95	151	166,7	108,8	24,4	7,7	1,7
$E$ . . . . .	0,9	1,35	2,1	3,8	7,1	14,5	31,8	74,3	189	210	—
$\frac{S + P - D - p}{E} = \frac{S'}{E}$	1,8	1,8	7,1	12,0	13,3	10,4	5,1	1,4	0,15	0,015	—

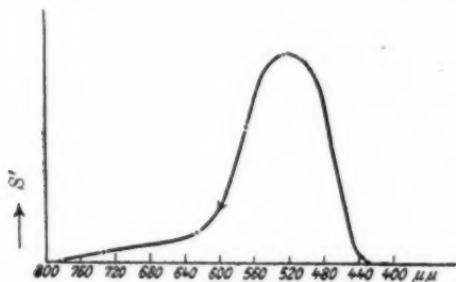


Fig. 7.

im Gitterspektrum des Sonnenlichtes. Eine Gelegenheit den erstgenannten Einfluß zu prüfen, war bis jetzt nicht vorhanden; dagegen ist über den Einfluß der verschiedenen Energieverteilung folgendes mitzuteilen.

Aus den Werten der Tab. XVIII und aus der entsprechenden Kurve ist zu entnehmen, daß das Maximum der Lichtwirkung bei  $\lambda = \pm 510 \mu\mu$  liegt, während es bei den Versuchen mit dem Gitterspektrum in der Nähe von  $\lambda = 475 \mu\mu$  gefunden wurde. Um zu erfahren, inwieweit diese beiden Ergebnisse miteinander in Übereinstimmung sind, ist es nötig, daß man vorher die in beiden Fällen gefundenen Stromstärken auf gleiche Energiemengen reduziert. Für die relative Verteilung im Sonnenspektrum wurden dazu die Werte

Langleys (vgl. die zweitunterste Reihe der Tab. XVI) benutzt.<sup>1)</sup> Die relative Energieverteilung im prismatischen Spektrum wurde mit einer Thermosäule gemessen und dafür die in der vorletzten Reihe der Tab. XVIII angeführten Werte gefunden. Die letzten Reihen der Tabellen enthalten die gewünschten reduzierten Werte der Stromstärken ( $S_1:E$ ); mit ihrer Hilfe wurden die für eine Übersicht geeigneten Figg. 8a und 8b erhalten. Aus den in größerem Maßstab angefertigten Kurven entnahm ich nun folgende Werte der Wellenlänge für die maximale auf gleiche zugeführte Energie bezogene lichtelektrische Wirkung:

Für das prismatisch zerlegte Nernstlicht etwa  $462 \mu\mu$ .

Für das normale Sonnenspektrum etwa 460 bzw.  $464 \mu\mu$ .

Somit stehen trotz der etwas verschiedenen Kurvenform auch die Ergebnisse der Versuche mit prismatisch zerlegtem Licht in sehr befriedigender Übereinstimmung mit den übrigen, und wenn ich noch angebe, daß auch spätere Versuche (vgl. S. 172) zu demselben Wert für  $\lambda_{\max}$ . führten, so darf ich es wohl als eine recht erfreuliche Errungenschaft bezeichnen, daß sich trotz aller vorhandenen Nebeneinflüsse und Fehlerquellen, die einem die Arbeit manchmal verleidet haben, aus den mit Zwischenräumen von manchen Jahren mit den verschiedensten Steinsalzpräparaten und mit verschiedenen Anordnungen angestellten Versuchen doch das übereinstimmende Resultat ergeben hat, daß die maximale lichtelektrische Wirkung

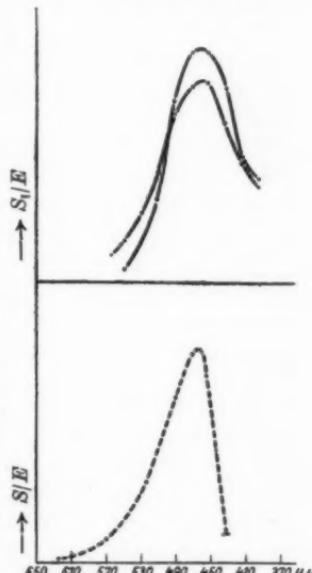


Fig. 8a u. b.

1) Angenommen wurde, was freilich nicht ohne weiteres einwandfrei ist, daß die Energieverteilung in dem auf die Platte fallenden Sonnenlicht dieselbe war, wie in dem von Langley untersuchten (vgl. das auf S. 119 Gesagte). Die Versuche wurden im Monat Juli gegen die Mittagstunde gemacht.

auf X-bestrahltes Steinsalz in einem ziemlich eng begrenzten, bei  $475 \mu\mu$  gelegenen Wellengebiet des Gitterspektrums des Sonnenlichtes zu suchen ist. Auf Grund des Ergebnisses der soeben ausgeführten Reduktion der Stromstärken auf gleiche zugeführte Lichtenergiemengen läßt sich noch weiter aussagen, daß man die größte Wirkung bei  $\lambda =$  etwa  $463 \mu\mu$  finden würde, wenn man bei einem gedachten Versuch alle im Sonnenlicht, oder auch in dem Licht der Nernstlampe vorhandene Lichtarten durch eine passende Änderung ihrer Intensität auf gleiche Energie gebracht hätte.

Die sich auf die zuletzt mitgeteilten Versuchsreihen beziehenden Figg. 4a bis 5b zeigen, daß die beim Rückgang, d. h. beim Durchlaufen der Wellenlängenreihe von kleineren Wellenlängen zu größeren für die L.-F. erhaltenen Werte zuerst kleiner und später größer sind als die entsprechenden beim Hingang gefundenen. Diese auffallende Erscheinung ist zweifellos eine Folge von dem Zusammenwirken der oben erwähnten Einflüsse, einmal der selbständigen zeitlichen Abnahme der Lichtempfindlichkeit, zweitens der Ermüdung und drittens der durch viele Versuche besonders bestätigten verstärkenden Nachwirkung<sup>1)</sup>, die die Beleuchtung mit kleineren Wellenlängen auf die L.-F. bei folgender Beleuchtung mit größeren Wellenlängen (und auch auf die L.-F. im Dunkeln) ausübt. Eine merkliche Verschiebung des Maximums nach größeren Wellen auf dem Rückgang, die man vielleicht nach dem soeben Mitgeteilten erwarten könnte, läßt sich aus den Beobachtungen nicht mit Sicherheit entnehmen.

#### Verhalten anderer Körper.

Bei der Prüfung einer Anzahl von festen Substanzen ergaben sich einige, die sich ähnlich wie NaCl verhielten, d. h. nach stattgefunder X-Bestrahlung bei Beleuchtung eine größere L.-F. aufwiesen als im Dunkeln. Es sind dies Sylvin, Flußpat und gewöhnliches Geräteglas. Die nicht mit

1) Es wurde von Goldstein (Berl. Ak. 1895, S. 469) beobachtet, daß die Färbung von kathodenbestrahltem NaCl durch Licht verändert werden kann; ob diese Erscheinung mit der oben erwähnten zusammenhängt, muß vorläufig unerörtert bleiben. Eigene Versuche über diese „Bleichfarben“, sowie über das Verhalten von Gieselspräparaten und über Thermoluminiscenz haben noch zu wenig abschließende Ergebnisse geliefert, um veröffentlicht werden zu können.

gleicher Ausführlichkeit wie beim NaCl gemachten Versuche ergaben für X-bestrahlten Flußpat ein Maximum der Lichtempfindlichkeit bei ungefähr  $500 \mu\mu$ , für X-bestrahltes Sylvan bei ungefähr  $560 \mu\mu$ , wenn die Beleuchtung mit dem Gitterspektrum des Sonnenlichtes vorgenommen wurde. Die einzelnen Beobachtungen hier wiederzugeben, halte ich nicht für erforderlich, und gebe statt dessen in Fig. 11 nur ein Bild von dem Verlauf der mit Sonnenlicht bei Sylvan erhaltenen  $\lambda, S$ -Kurve, das unten zu einer weiteren Besprechung noch verwendet werden soll.

Von den Körpern, die nach vorläufiger Untersuchung die Eigenschaft des NaCl nicht merklich zeigten, nenne ich nur Kalkspat und Quarz. Das so verschiedene Verhalten von den beiden Kalziumverbindungen regt besonders dazu an, nach Beziehungen zwischen chemischer Konstitution und der Eigenschaft durch X-Bestrahlung aktiv werden zu können, zu suchen. Ob der Angriff der X-Strahlen, der die Bildung von lichtempfindlichen Na- oder Cl-Teilchen im NaCl zur Folge hat, sich primär gegen die Na- oder gegen die Cl-Atome richtet, ist fraglich; daß sie sich dazu beigemengte, gelöste fremde Substanzen wählen sollte, halte ich nach allem, was man an X- oder Ra-bestrahltem NaCl beobachten kann, für unwahrscheinlich, aber nicht für ganz ausgeschlossen. Von Interesse wäre es gewesen, zu erfahren, wie sich kolloidale Na-Lösungen in nicht leitenden, flüssigen Medien verhalten. Zur Erledigung der angeregten Untersuchungen habe ich bis jetzt keine Gelegenheit gehabt; es liegen nur Vorversuche vor, die keine Entscheidung gebracht haben. Dagegen fand eine ausführliche Untersuchung über das Verhalten von natürlich blau gefärbtem NaCl statt, über die weiter unten berichtet wird.

#### **Über einen einfachen Demonstrationsapparat.**

Für eine bloße Demonstration der aufgefundenen Wirkung der X- und Lichtstrahlen und auch für eine weniger eingehende Prüfung von Substanzen auf ihr Verhalten genügt folgende, wesentlich einfachere Vorrichtung. Auf die die Aluminiumblättchen tragende Stange eines Exnerschen Elektroskopes, wie es zu luftelektrischen Messungen verwendet wird, ist eine etwas federnde Klemme aus Metall angebracht, in die ein Plättchen oder Stäbchen — es genügen oft Stückchen von wenigen Millimeter Größe — der zu untersuchenden Substanz

befestigt wird. Mittels einer zweiten Klemme wird über der ersten eine Erdleitung an das Plättchen befestigt, so daß zwischen beiden Klemmen ein schmaler Streifen des Körpers für eine intensive, von der Seite einzuleitende Beleuchtung frei bleibt. Das Ganze wird in einer zur Erde abgeleiteten lichtdichten, kleinen Hülle untergebracht, deren Luftinhalt durch das im Elektroskop angebrachte Trockenmittel von Feuchtigkeit befreit wird. Man beobachtet nun die Zeiten, die für einen bestimmten Spannungsabfall des Elektroskops nötig sind, einmal bei verdunkelter und dann bei beleuchteter Substanz. Mit dieser Vorrichtung läßt sich z. B. die Lichtempfindlichkeit von X-bestrahltem und von gefärbtem NaCl sehr deutlich demonstrieren, namentlich nach plötzlich eingetreterener Beleuchtung, wo aus begreiflichen Gründen die Bewegung der Elektroskopblättchen am raschesten ist.

Mit diesem einfachen Apparat habe ich sogar einige Tatsachen gefunden, die die mitgeteilten Beobachtungen etwas ergänzen können. Es ließ sich z. B. feststellen, daß alle nach Giesel und Siedentopf hergestellten, künstlich gefärbten NaCl-Stückchen verschiedenster Farbe während einer Beleuchtung mit weißem Licht bedeutend besser leitend sind, als im Dunkeln. Dieses Ergebnis ist insoweit von besonderem Interesse, als es zeigt, daß eine Aktivierung des Steinsalzes und anderer Körper nicht bloß durch eine X-Bestrahlung zu geschehen braucht: es ist nur erforderlich und ausreichend, daß in diese Körper bestimmte Teilchen eingeführt oder darin gebildet werden, die auf die Wirkung einer Beleuchtung reagieren.

Auch fand sich mit diesem Apparat entsprechend dem, was vorher schon bei natürlich gefärbtem NaCl bemerkt worden war, daß die Abnahme der Ladung bei den manchmal sehr dunkel gefärbten Gieselpräparaten keineswegs viel, etwa der bedeutend intensiveren Farbe entsprechend, rascher war, als bei X-bestrahltem NaCl, an dem die Bestrahlung noch nicht einmal eine sichtbare Färbung erzeugt hatte. Weiter konnte festgestellt werden, daß ein Gieselpräparat nach einer an freier Luft bis zu fast vollständiger Entfärbung (schwacher Gelbfärbung) vorgenommenen Erhitzung, bei der sogar Schmelzspuren eingetreten waren, sich doch noch deutlich als lichtempfindlich erwies, was das oben bereits Gesagte: eine NaCl-

Platte müsse lange und genügend hoch genug erhitzt werden, um ihre Aktivität ganz zu verlieren, bestätigt. Schließlich kann ich noch in bezug auf die gleiche Frage angeben, daß ein besonders dunkel, natürlich gefärbtes Stückchen Steinsalz nach einem schwachen Erhitzen, das gerade zur sichtbaren Entfärbung genügte, eine raschere Entladung des Elektroskops bewirkte als vorher. Als Gegenprobe diente dabei ein Versuch mit einem aus dem gleichen großen Steinsalzblock gesprengtes, farbloses Stückchen, das sich als nicht lichtempfindlich erwies. Bei einer Beurteilung dieses Ergebnisses und bei einer eventuellen Verwendung desselben zu weiteren Schlüssen ist zu berücksichtigen, daß die Vermehrung der L.-F. der sehr intensiv gefärbten NaCl-Präparate sich nur auf die erste vom Licht getroffene, eventuell sehr dünne Schicht beschränken muß.

Mit dem Exnerschen Elektroskop konnte ich auch die Lichtempfindlichkeit von Ra-bestrahltem Glas nachweisen. Dazu diente ein Weinkelchglas, das zufälligerweise lange Zeit in einem Schranken in einiger Entfernung von Radium und Mesothorium gestanden und infolgedessen eine schwache Bernsteinfarbe erhalten hatte.  $H_2SO_4$  bildete die eine mit dem Elektroskop verbundene, aufgeklebtes Stanniol die geerdete Belegung.

#### **Versuche mit natürlich blaugefärbtem Steinsalz.**

Durch X- und Radiumbestrahlung erhalten, wie bekannt, Steinsalz, Sylvan, Flußspat und Glas eine charakteristische Färbung und nach dem obigen Befund die Eigenschaft lichtempfindlich — in dem mehrfach gebrauchtem Sinn — zu sein. Es lag deshalb nahe, zu versuchen, ob vielleicht die in der Natur vorkommenden farbigen Varietäten dieser Körper schon ohne vorhergegangene X-Bestrahlung diese Eigenschaft besitzen. Als Versuchsmaterial bot sich vorhandenes blaues Steinsalz dar. Schon das erste in der Form einer etwa 1,5 zu 1,5 cm großen und etwa 0,3 cm dicken, parallel der Würfelfläche geschliffenen Platte verwendete, mit Glyzerinbelegung versehene und von oben durch eine Nernstlampe beleuchtete, sehr dunkle Präparat zeigte bei Ladungsversuchen erstens, daß es, ohne einer X-Strahlung ausgesetzt gewesen zu sein, recht lichtempfindlich war und unausgesetzt lichtempfindlich

blieb und zweitens, daß es für rotes Licht wesentlich empfindlicher war als eine sich sonst ähnlich verhaltende, vorher nicht beleuchtete X-bestrahlte Platte. Im wesentlichen aber verhielt sich das neue Präparat wie X-bestrahltes Steinsalz, so daß wir also in dem natürlich blau gefärbten NaCl ein Material besitzen, das ohne weitere Vorbereitung zu unsren lichtelektrischen Versuchen verwendet werden kann und vor dem X-bestrahlten den Vorzug hat, seine Lichtempfindlichkeit nicht, oder wenn überhaupt dann nur äußerst langsam mit der Zeit zu verlieren.

Es bestand also die willkommene Möglichkeit, mit diesem Material einige Ergebnisse, die beim X-bestrahlten gefunden waren, noch mehr zu sichern und die Untersuchung zu ergänzen. Zuerst kam hier die Frage nach der Temperaturabhängigkeit der L.-F. und nach den Erscheinungen der „Erholung“ und der „Ermüdung“ in Betracht.

Es wurde deshalb eine Platte aus hellblauem NaCl in der üblichen Weise mit Belegungen versehen — unten Graphit, oben Glyzerinsalzlösung — und für die Beobachtung der L.-F. in einem der Kästchen aufgestellt. Die hier in Betracht kommenden Dimensionen sind: Größe der Platte 1,6:1,7 cm, Dicke 0,30 cm, Durchmesser der inneren Graphitbelegung 1,19 cm, Breite des Isolierringes 0,08 cm, Weite des Glyzerintröghens 1,5 cm. 104 Volt angelegter Spannung erzeugten auf der Graphitbelegung eine Menge Influenzelektrizität, die sich durch einen Ausschlag am Elektrometer von 180 Skalenheiten bemerkbar machte.

Es kam nun zunächst darauf an, Versuchsbedingungen zu erhalten, unter denen die Platte imstande war, in einer Reihe von aufeinanderfolgenden L.-F.-Bestimmungen möglichst gleichbleibende Ergebnisse zu liefern, wenn sie bei derselben Temperatur immer mit der gleichen Ladung und Beleuchtung versehen wurde. Die nunmehr in dieser Beziehung zu stellenden Anforderungen sollten wesentlich höhere sein als bisher. Nach vielen zeitraubenden Vorversuchen haben sich folgende Versuchsanordnungen als die zweckmäßigsten herausgestellt, und sie wurden deshalb bei den meisten Versuchen angewendet (vgl. S. 151 u. ff., wo eine nähere Begründung gegeben wird).

Von den eigentlichen Versuchen zur Bestimmung der L.-F.

konnte an einer Reihe von aufeinander folgenden Tagen jedesmal nur je einer gemacht werden. Die Zwischenzeit war nötig, damit sich die Platte von dem vorangegangenen Versuch in genügendem Maße erholen konnte. Der betreffende Versuch verlief im wesentlichen in folgender Weise. Zwischen 4 und 5 Uhr nachmittags wurde die in ca. 50 cm Entfernung aufgestellte Nernstlampe, die die zunächst sorgfältig verdunkelte Platte nachher zu beleuchten hatte, angezündet. 10 Minuten später wurde an die bis dahin mit beiden Belegungen zur Erde abgeleitete Platte eine Spannung von etwa 105 Volt angelegt; der schwache Dunkelstrom verschwand, wie bei vorhergehenden Proben festgestellt war, in wenigen Sekunden. Die Platte blieb dann, immer geladen, noch weitere 6 Minuten im Dunkeln, während welcher Zeit die Bestimmung von Spannung und Stromstärke der Nernstlampe und von der Plattentemperatur stattfand; zu allerletzt, kurz vor Ablauf der 6 Minuten, wurde die Elektrometer-Plattenverbindung von der Erde getrennt und das Elektrometer abgelesen. Darauf setzte nach Wegziehen des das Kästchenfensterchen bedeckenden Schiebers<sup>1)</sup> plötzlich die durch Wasser gesiebte Beleuchtung der Nernstlampe und damit auch gleichzeitig die Bewegung des Lichtzeigers auf der Elektrometerskala ein. Der Beobachter las in den folgenden 30 Sekunden regelmäßig alle 5 Sekunden das Elektrometer ab, erdete dann auf 30 Sekunden die Elektrometer-Plattenverbindung und wiederholte nach Isolierung dieser Leitung seine regelmäßigen Ablesungen wie vorher. In dieser Weise kam jedesmal eine Gruppe von je sechs Bestimmungen der unmittelbar aufeinander folgenden Elektrometerablenkungen zustande. Im ganzen wurden sechs solche um je 30 Sekunden zeitlich voneinander entfernte Gruppen beobachtet. An die letzte Ablesung schlossen sich dann der Reihe nach folgende Operationen an: Erdung beider Plattenbelegungen, nochmalige Bestimmung der Spannung und Stromstärke der Nernstlampe, außerdem auch der Ladespannung der Platte, Ausschalten der Nernstlampe, Prüfung der Isolation von Elektrometerleitung und verdunkelter Platte, nochmalige Ablesung der Plattentemperatur. Zu allerletzt wurde eine 50kerzige Metallfadenlampe in etwa 60 cm Entfernung von der Platte so aufgestellt, daß mittels eines auf das Kästchenfensterchen

1) Bei geöffnetem Fensterchen war das Zimmer stets verdunkelt.

inzwischen aufgesetzten Prismas total reflektiertes Licht die geerdete Platte mit bei allen Versuchen möglichst gleichbleibender Intensität beleuchtete. Diese Beleuchtung blieb bis gegen 8 Uhr morgens des folgenden Tages bestehen, dann aber wurde das Fensterchen durch Auflegen des erwähnten Schiebers verschlossen und damit die geerdete Platte bis etwa gegen 5 Uhr, d. h. bis zum nächsten gleich verlaufenden Versuch, verdunkelt. Eine Beobachtung des in ähnlicher Weise wie der Ladungsstrom verlaufenden Entladungsstromes fand nur einige Male in sofortigem Anschluß an einen Ladungsversuch statt.

Die erste der folgenden Tabellen enthält nun die Wiedergabe eines Versuchs in ausführlicher Darstellung und die zweite von einer Anzahl von Versuchen nur die Gruppenwerte (Kolonne 7—12) d. h. die ganzen, in je 30 Sekunden erhaltenen Ablenkungen; außerdem die Summe dieser Gruppenwerte (Kolonne 13) und einige andere Daten.

Tabelle XIX.

28. Febr.	5 <sup>h</sup>	25 Min.	0 Sek.	Nernstlampe angezündet.
				Elektrometerempfindlichkeit: 162,0 Skt. pro Volt.
	5 <sup>h</sup>	35 Min.	0 Sek.	105,3 Volt angelegt.
	5 <sup>h</sup>	35	" 1 "	Dunkelstrommessung angefangen: 0,5 Skt. in 5 Sek.
				0,2 Skt. in folgenden 10 Sek. unmerklich in folgenden Minuten.
				Nernstlampenspannung: 99,8 Volt. Nernstlampenstromstärke: 0,433 Amp. Plattentemperatur: 20,0°.
	5 <sup>h</sup>	41 Min.	0 Sek.	Anfang der Plattenbeleuchtung.
	5 <sup>h</sup>	41 Min.	0 Sek.	Elektrom. Nullpunkt: 14,5 Ablenkung in 5 Sek.
	5 <sup>h</sup>	41	5 "	Stand: 86 71,5 Skt.
	5 <sup>h</sup>	41	10 "	" 126 40 "
	5 <sup>h</sup>	41	15 "	" 161 35 "
	5 <sup>h</sup>	41	20 "	" 191 30 "
	5 <sup>h</sup>	41	25 "	" 220 29 "
	5 <sup>h</sup>	41	30 "	" 247,5 27,5 "
				1. Gruppenwert: 233 Skt.
	5 <sup>h</sup>	42 Min.	0 Sek.	Elektrom. Nullpunkt: 15 Ablenkung in 5 Sek.
	5 <sup>h</sup>	42	5 "	Stand: 35 20 Skt.
	5 <sup>h</sup>	42	10 "	" 44 19 "
	5 <sup>h</sup>	42	15 "	" 70,5 16,5 "
	5 <sup>h</sup>	42	20 "	" 89 18,5 "
	5 <sup>h</sup>	42	25 "	" 105 16 "
	5 <sup>h</sup>	42	30 "	" 121,5 16,5 "
				2. Gruppenwert: 106,5 Skt.

Tabelle XIX (Fortsetzung).

$5^h$	43 Min.	0 Sek.	Elektrom.	Nullpunkt:	15	Ablenkung in 5 Sek.
$5^h$	43	"	5	"	Stand: 30	15 Skt.
$5^h$	43	"	10	"	" 45	15 "
$5^h$	43	"	15	"	" 59	14 "
$5^h$	43	"	20	"	" 72,5	13,5 "
$5^h$	43	"	25	"	" 85	12,5 "
$5^h$	43	"	30	"	" 99	14 "
3. Gruppenwert:					84	Skt.

$5^h$	44 Min.	0 Sek.	Elektrom.	Nullpunkt:	14,5	Ablenkung in 5 Sek.
$5^h$	44	"	5	"	Stand: 27	12,5 Skt.
$5^h$	44	"	10	"	" 40	13 "
$5^h$	44	"	15	"	" 52	12 "
$5^h$	44	"	20	"	" 63	11 "
$5^h$	44	"	25	"	" 75	12 "
$5^h$	44	"	30	"	" 86	11 "
4. Gruppenwert:					71,5	Skt.

$5^h$	45 Min.	0 Sek.	Elektrom.	Nullpunkt:	14,5	Ablenkung in 5 Sek.
$5^h$	45	"	5	"	Stand: 26	11,5 Skt.
$5^h$	45	"	10	"	" 37	11 "
$5^h$	45	"	15	"	" 47	10 "
$5^h$	45	"	20	"	" 57	10 "
$5^h$	45	"	25	"	" 67	10 "
$5^h$	45	"	30	"	" 77,5	10,5 "
5. Gruppenwert:					63	Skt.

$5^h$	46 Min.	0 Sek.	Elektrom.	Nullpunkt:	14,5	Ablenkung in 5 Sek.
$5^h$	46	"	5	"	Stand: 24,5	10 Skt.
$5^h$	46	"	10	"	" 35	10,5 "
$5^h$	46	"	15	"	" 44	9 "
$5^h$	46	"	20	"	" 53,5	9,5 "
$5^h$	46	"	25	"	" 62,5	9 "
$5^h$	46	"	30	"	" 71,5	9 "
6. Gruppenwert:					57	Skt.

$5^h$  46 Min. 32 Sek.: Platte geerdet.

Nernstlampenspannung: 99,7 Volt.

Nernstlampenstromstärke: 0,430 Amp.

Plattentemperatur: 20,2°.

Elektrometertemperatur: 17,6°.

Isolationsmessung: Abnahme einer Ablenkung von 162 Skt.

in 30 Sek.: 1,6 Skt.

in weiteren 30 Sek.: 1,4 Skt.

Selbständiger Elektrometergang mit geerdeter Platte in 1 Min.:

0,1–0,2 Skt.

Tabelle

Nr.	Datum	Lade <span style="font-size: small;">-spann.</span>	Nernstlampe Span- nung	Strom- stärke	Temp	Gruppenwerte						Summe	Red. Summe
						I	II	III	IV	V	VI		
1	29. I.	104,8	101,0	0,459	18,5°	221	106	85	73,5	65	59	609,5	565,5
2	30. I.	104,5	101,0	0,459	18,3	217	105	83	72	64	58,5	599,5	558,5
3	31. I.	104,5	101,0	0,459	18,75	217,5	103,5	84	72	64	58	599	556,5
4	1. II.	104,5	100,9	0,460	18,3	201	105	83,5	72	65	58,5	585	545
5	2. II.	104,5	100,9	0,430	25,8	236	111	89	76	67,5	61	640,5	624,5
6	3. II.	104,3	100,8	0,439	26,9	250,5	114,5	91,5	77,5	69	63	666	630,5
7	4. II.	104,2	100,5	0,439	29,8	253	117	94	80	71,5	64,5	680	634,5
8	5. II.	104,2	100,5	0,444	27,9	253	117	94	79,5	70,5	63	677	629,5
9	6. II.	104,2	100,4	0,443	29,1	235	109	86	74	66	60	630	
10	7. II.	104,2	100,5	0,448	29,8	207	98	78	67	60	54	564	
11	8. II.	104,5	100,0	0,428	28,2	204,5	95	75,5	65,5	58	53	551,5	
12	9. II.	104,0	100,0	0,430	28,2	251	113,5	90	77	68	61	660,5	647,5
13	10. II.	104,0	99,8	0,432	19,2	228,5	105	82,5	69,5	61,5	55,5	602,5	627
14	11. II.	103,0	99,8	0,432	19,2	227	103	81	69	61	55	596	626,5
15	21. II.	105,5	99,8	0,432	19,2	274	128	97	82	71,5	63,5	716	
16	22. II.	105,5	99,8	0,432	17,3	241	110	85,5	71,5	63	56,5	627,5	
17	23. II.	105,2	99,7	0,430	19,6	233,5	107,5	84,5	71	63	57	616,5	
18	24. II.	105,2	99,8	0,431	19,1	235	107	83	70	62	56	613	633
19	25. II.	105,2	99,8	0,431	19,7	231,5	106	83	71	61,5	56,5	609,5	626,5
20	26. II.	105,2	99,8	0,430	31,8	250,5	114,5	90,5	77	68	61	661,5	627
21	27. II.	105,3	99,8	0,430	31,0	251,5	115	90	76,5	67,5	61	661,5	630
22	28. II.	105,3	99,8	0,432	20,1	233	106,5	84	71,5	63	57	615	628
23	1. III.	115,5	99,8	0,432	19,3	250	114,5	90	77,5	68,5	62	662,5	620
24	2. III.	94,5	99,8	0,431	22,0	200,5	93	73,5	63*	55	50,5	535,5	603
25	3. III.	94,5	99,8	0,432	20,5	199,5	93	73,5	63	55	50	534	606
26	4. III.	115,5	99,7	0,432	20,6	245,5	114	89,5	77	68	61	655	608,
27	5. III.	105,0	99,7	0,432	20,4	219	102	80,5	68,5	60,5	54,5	585	598,
28	6. III.	105,0	99,6	0,431	19,5	216	101	80	68	60,5	54,5	580	600
29	10. III.	104,8	99,6	0,431	19,8	248,5	109	85	73	63,5	57,5	636,5	

\*) Wurde nicht beobachtet, sondern

nach

Diese Tabellen enthalten verschiedenes Material für eine ausführliche Besprechung. Die Tab. XX mag zunächst dazu dienen, um sich ein Urteil zu bilden über die bei Messungen wichtige Frage, inwieweit das untersuchte Material und die Versuchsanordnung imstande sind, unter anscheinend gleichbleibenden Versuchsbedingungen untereinander übereinstimmende Ergebnisse zu liefern. Zu diesem Zweck dienen am besten die Werte der Kolonne 14, die durch Reduktion der direkt beobachteten Summenwerte (Kolonne 13) auf gleiche

XX.

Reduzierte Summe	I/VI	II/VI	II/V	Bemerkungen	
565,5	3,75	1,80	1,63		
558,5	3,70	1,79	1,64		
556,5	3,77	1,79	1,62		
545	3,44	1,79	1,62		
				Vermutlich infolge einer kurz vor dem Versuch stattgefundenen 40sekündigen Beleuchtung der Platte etwas zu klein.	
624,5	3,87	1,82	1,64	Unerklärter Sprung in der Wattzahl der Nernstlampe gegen den vorhergegangenen Versuch.	
630,5	3,98	1,82	1,66		
634,5	3,92	1,81	1,64		
629,5	4,02	1,86	1,66		
	582,5	3,92	1,82	1,65	Versuche mit verschiedener und geringerer Beleuchtungsstärke.
	509,5	3,87	1,83	1,63	
	541,5	3,86	1,79	1,64	
647,5	4,12	1,86	1,67	Vermutlich infolge der bei den vorhergegangenen Versuchen verwendeten geringeren Beleuchtungsstärke etwas zu groß.	
627	4,12	1,89	1,71		
626,5	4,13	1,88	1,69		
	734	4,31	2,16	1,78	Nach 10 tägiger Verdunklung der ungeladenen Platte.
	652	4,26	1,95	1,75	Allmähliche Gewöhnung der Platte an den normalen Beleuchtungsturnus.
	637	4,10	1,89	1,71	Platte vorher über Nacht auf etwa 30° erwärmt.
	633	4,19	1,91	1,73	
	626,5	4,09	1,88	1,72	
	627	4,10	1,88	1,68	
	630	4,12	1,89	1,70	
	628	4,09	1,87	1,69	
	620	4,03	1,85	1,67	
	603	3,97	1,84	1,69	
	606	3,99	1,86	1,69	
	608,5	4,02	1,87	1,68	
	598,5	4,02	1,87	1,69	
	600	3,90	1,85	1,67	Nach 4 täg. Verdunklung der ungeladenen Platte.
	658	4,32	1,90	1,72	

nach Versuch 25 angenommen.

Temperatur (24,0°), gleiche angelegte Spannung (105,0 Volt) und gleiche Wattzahl (43,0) der Nernstlampe erhalten wurden. Betrachtet man nun diese Reihe, so fällt zunächst auf, daß die vier ersten Zahlen, wenn auch untereinander recht befriedigend übereinstimmend (mit Ausnahme der vierten, deren Abweichung noch im folgenden begründet werden soll) kleiner sind als alle folgenden. Gleichzeitig bemerkt man in den Angaben über die Stromstärke der Nernstlampe (Kolonne 5), daß ein in der ganzen Versuchsreihe nicht wieder vorgekommener

bedeutender Sprung dieser Werte nach kleineren Zahlen beim Übergang von dem vierten Versuch zu den folgenden stattgefunden hat. Die Veranlassung zu diesem Sprung ist mir unbekannt geblieben; ich weiß nicht, ob er etwa einem Defekt des Zeigers vom Amperemeter oder einer Veränderung in der Nernstlampe zuzuschreiben ist. Jedenfalls dürfen aber die Ergebnisse dieser vier Versuche nicht ohne weiteres mit denen der übrigen Versuche verglichen werden, wenn wir nach dem erreichten Grad der Übereinstimmung fragen. Die auf diese vier ersten Werte der Kolonne 14 folgenden, im Verlauf von  $2\frac{1}{2}$  Wochen erhaltenen zwölf Werte zeigen, abgesehen von dem aus dem Versuch 12 abgeleiteten, für dessen Abweichung noch ein vermuteter Grund angegeben werden wird, eine Übereinstimmung untereinander, wie ich sie mir kaum besser wünschen könnte. Wir kommen somit zu dem Ergebnis, erstens, daß sich unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen, was Ladespannung, Beleuchtung, Temperatur und Behandlung der Platte in der Zeit zwischen zwei Ladungsversuchen anbetrifft, mit dem blauen NaCl zuverlässiger arbeiten läßt als mit dem X-bestrahlten; zweitens, daß das Beobachtungsverfahren eine weitreichende Sicherheit gewährleistet, und drittens, daß es, wie schon erwähnt, bei einer eventuellen, größere Sicherheit erfordernden Fortsetzung dieser Untersuchung notwendig sein wird, die Intensität der Beleuchtung besser zu kontrollieren, als es hier durch Bestimmung der Wattzahl der Nernstlampe geschah. — In den auf die erwähnten 12 folgenden Summenwerte ist eine nicht unbedeutende Abnahme gegen Ende der Versuchsreihe zu erkennen, und es fragt sich, welchem Umstand diese Annahme zuzuschreiben ist. Als Grund vermutete ich zuerst eine nicht in der Wattzahl ausgedrückte Abnahme der Intensität der sich seit Monaten im Gebrauch befindlichen Nernstlampe. Nach Vornahme der erwähnten Reduktion fiel mir aber dann auf, daß diese Abnahme der Summenwerte hauptsächlich in zwei Sprüngen eingetreten war, die jedesmal folgten, wenn zu einem noch zu besprechenden Zweck ein Versuch mit etwas erhöhter Ladespannung — 115 statt 105 V. — vorausgegangen war, und es schien mir nun doch nicht sehr wahrscheinlich zu sein, daß die Nernstlampe gerade diese beiden Gelegenheiten gewählt haben sollte, um ihre Intensität besonders stark zu ändern. Andererseits aber mußte ich es auch

für sehr auffallend halten, wenn eine verhältnismäßig so geringe Änderung in der jedesmal alle 24 Stunden nur einmal auf 6 Minuten angelegten Ladespannung eine so bemerkbare, mindestens drei Tage anhaltende Verminderung der Stromstärke bewirkt hätte, denn die über Polarisation und Ermüdung mit der Platte bisher gemachten Erfahrungen hatten keinen sicheren Anhaltspunkt für das Bestehen eines solchen Einflusses gegeben. Ich verfiel dann noch auf den Gedanken, ob nicht vielleicht die bei unbestrahltem, nicht farbigem NaCl gefundene, unerklärt gebliebene „langzeitige Abnahme der L.-F.“, von der bei beleuchtetem blauem und X-bestrahltem NaCl freilich bisher, trotz mehrfacher Gelegenheit dazu, nichts zu bemerken gewesen war, plötzlich wieder eine Rolle gespielt haben sollte. Zu einer Entscheidung in dieser Angelegenheit bin ich noch nicht gekommen.

Von einem Interesse ist weiter die Angabe der Ergebnisse, die eine Berechnung des Verhältnisses einiger Gruppenwerte je eines Versuchs geliefert haben. Sie gibt eine Vorstellung der Geschwindigkeit der zeitlichen Abnahme der Stromstärke oder m. a. W. der Zunahme der Polarisation während eines Versuchs. Die letzten drei Zahlenreihen der Tab. XX zeigen, wenn wir uns zunächst auf die Versuche beschränken, aus denen die Werte der Kolonne 14 berechnet wurden, daß diese Abnahme während der ersten Zeit der langen Versuchsreihe rascher wurde, um dann gegen Ende wieder etwas langsamer zu werden. Man erkennt weiter, daß sich an dieser Veränderung hauptsächlich die ersten Gruppen beteiligten. Einen bestimmten Grund kann ich für diese Veränderungen nicht angeben; doch sei als vielleicht damit zusammenhängend, darauf hingewiesen, daß die Platte sich in bezug auf den Verlauf eines Ladungsversuchs sehr empfindlich für eine Abweichung von der oben angegebenen regelmäßigen Vorbehandlung erwiesen hat. Letzteres ist z. B. an den Ergebnissen der Versuche Nr. 15, 16 u. 29 der Tabelle deutlich erkennbar. Da nun die Platte vor Anfang der Versuchsreihe ganz anders behandelt worden war als während derselben, und da durch andre Versuche festgestellt ist, daß die Platte unter Umständen längere Zeit braucht, um sich an die neuen Verhältnisse zu gewöhnen, so erscheint es immerhin möglich, daß die in der ersten Woche nach Anfang der Versuchsreihe eingetretene Veränderung in

dem Verlauf eines jeden Ladungsversuchs eine Folge ist von dieser verschiedenen Vorbehandlung. Das geringe Kleinerwerden des genannten Verhältnisses gegen Ende der Untersuchung hängt wohl mit den zu dieser Zeit eingetretenen, auf S. 140 erwähnten Verhältnissen zusammen.

Die zuletzt besprochenen, in wenig befriedigender Weise erklärten Wahrnehmungen spielen zwar bei der Beantwortung der Hauptfrage, die mit diesem Teil der Untersuchung beabsichtigt war, der Frage nach dem Einfluß der Temperatur auf die L.-F. des blauen NaCl keine Rolle, weil, wie oben erwähnt, in dem betreffenden Teil (Versuch Nr. 5 bis 22) der Versuchsreihe keine derartige Störungen vorkamen; sie müssen aber, wenn die Untersuchung in dieser Richtung weiter geführt werden sollte, vermieden werden. Die übrigen, in der Tabelle hervortretenden Verschiedenheiten werden unten noch begründet werden; sie bieten das Material für die Erledigung einiger weiterer Aufgaben, die noch erledigt werden sollten.

Bevor ich aber zu der Mitteilung der wichtigsten gefundenen Ergebnisse übergehe, wird es notwendig sein, Angaben zu machen über verschiedene Faktoren, die diese Ergebnisse beeinflußt haben und über die dadurch bedingten Fehlergrenzen. Dabei wird sich auch Gelegenheit bieten, über Anordnung und Verwendung der gebrauchten Instrumente usw., das Erforderliche zu berichten. Einiges im folgenden wird wohl eine Wiederholung von Vorhergegangenem sein, darf aber der Vollständigkeit wegen auch hier nicht fehlen.

Die optische Untersuchung der Platte ergab, daß die blaue Färbung jedenfalls in der Hauptsache von schichtenweise eingelagerten Medien herrührte, die im Ultramikroskop die von Herrn Siedentopf beschriebene Anordnung und Farben aufwiesen, so daß ich mit Herrn Siedentopf annehme, daß sie aus submikroskopischen Na-Teilchen bestehen. In dieser Beziehung unterscheidet sich somit das jetzt untersuchte Material wesentlich von dem benutzten X-bestrahlten NaCl mit seiner diluten, nicht nachweisbar schichtenweis angeordneten gelben Färbung. Die Frage, ob im blauen NaCl vielleicht außerdem noch eine dilute, von amikroskopischen Teilchen herrührende Färbung vorhanden war, konnte ich an unreren Präparaten nicht entscheiden.

Zur Ladung wurde wieder eine Batterie von kleinen Ak-

kumulatoren verwendet, deren Spannung von etwa 105 Volt bei jedem Versuch mit einem Kelvinschen Multizellar auf Zehntelvolt gemessen wurde; auf die nötige Unveränderlichkeit der Spannung während eines Versuchs konnte ich nach vorher mit der Batterie gemachter Erfahrung rechnen. Alle Kontakte waren sorgfältigst auf etwaige Fehler untersucht. Da die Batterie in einem Nebenzimmer aufgestellt war, hatten die mitunter großen Temperaturänderungen, denen die Platte durch absichtliche Änderung der Lufttemperatur im Beobachtungsraum unterworfen werden mußte, keinen störenden Einfluß auf die angelegte Spannung.

Für die Beleuchtung der NaCl-Platte kam eine mit „110 Volt 0,5 Ampere“ bezeichnete Nernstlampe ohne Glasshülle zur Verwendung, deren Stift in 49,3 cm Entfernung von der Platte senkrecht über dem oberen Kästchenfensterchen aufgestellt war. Da sie gegen Luftströmungen sehr empfindlich ist, war sie mittelst eines eng anschließenden, innen geschwärzten, etwa 12 cm langen Metallzyinders dagegen geschützt. Durch ein auf dem Deckel des Kästchens während des Versuchs vorhandenes, mit reinem Wasser in etwa 4 cm Höhe gefülltes Glaströgchen wurden lästige Wärmestrahlen von der Platte ferngehalten; mittelst eines auf dem Kästchenfenster liegenden lichtdichten Schiebers konnte das Kästchen verdunkelt werden. Ein allmählich fühlbar gewordener Mangel der Untersuchung war das Fehlen einer photometrischen oder thermoelektrischen Kontrolle der Intensität der Nernstlampe. Längere Zeit glaubte ich in bezug auf Veränderungen in der Beleuchtungsstärke das Nötige erfahren zu können durch eine jedesmal vor und nach jedem Ladungsversuch vorgenommene Messung von Stromstärke und Spannung der Lampe, letztere unmittelbar an den Enden des Leuchtstiftes ausgeführt. Außerdem ließ ich, um eine möglichste Unveränderlichkeit der Lichtstärke während des Versuchs zu erreichen, vor jeder Beleuchtung die Lampe 16 Minuten lang brennen und fing die lange Versuchsreihe mit einer schon einige Zeit im Gebrauch befindlichen Lampe an. Unter diesen Umständen nahm dann auch die Spannung bei jeder Beleuchtung der Platte nur um 0,1 bis 0,2 Volt, die Stromstärke um 0,002—0,003 Ampere ab. Erst gegen Schluß der Untersuchung mußte ich, wie schon erwähnt, die Wahrnehmung machen, daß dieses Verfahren doch nicht

immer ganz genügt haben dürfte. Da aber die Versuche trotzdem schon zu brauchbaren Ergebnissen geführt hatten, so konnte ich mich nicht entschließen, sie mit den vorhin genannten Verbesserungen zu wiederholen und behielt auch für die wenigen noch folgenden Versuche das einmal gewählte Kontrollverfahren bei.

Um zum Zwecke einer Reduktion der beobachteten Stromstärken auf eine gleiche Lichtstärke ein ungefähres Maß für den Einfluß von Strom- und Spannungsstärke der Lampe auf die L.-F. der Platte zu erhalten, stellte ich zwei nicht in der Tabelle aufgeführte Ladungsversuche unmittelbar nacheinander an; der eine bei 99,8 Volt und 0,469 Ampere, der zweite bei 99,0 Volt und 0,448 Ampere. Der Unterschied in den erhaltenen Elektrometerrausschlägen betrug etwa 8 Proz. des größten Wertes. Als Stromquelle für die Lampe diente eine Batterie von 60 großen Akkumulatoren, deren Spannung von etwa 125 Volt mittelst eines regulierbaren Vorschaltwiderstandes soweit reduziert wurde, daß für den Lampenstift noch etwa 100 Volt übrig blieben.

Als weitere, besonders mit Rücksicht auf die Bestimmung des Temperaturkoeffizienten zu besprechende Fehlerquellen kommen hauptsächlich eventuell in Betracht: 1. der persönliche Fehler bei der Ablesung, 2. eine mit der Ablenkung veränderliche Coulombempfindlichkeit des Elektrometers, 3. die Trägheit der Elektrometernadel und die Dämpfung ihrer Bewegung.

ad 1. Ein persönlicher Fehler konnte bei dem Einhalten der Beobachtungszeit begangen werden, somit am Anfang und am Ende der Messung eines jeden Gruppenwertes. Die Erfahrung hat gelehrt, daß in dieser Beziehung ein Fehler von 1 Proz. sicher vermieden werden konnte. Zu einem zweiten persönlichen Fehler war Veranlassung bei der Bestimmung der Stellung des bewegten Lichtzeigers am Ende dieser Beobachtungszeit. Auch dieser eventuell gemachte Fehler braucht ebenfalls 1 Proz. des Elektrometerrausschlages nicht zu erreichen. Übung ist natürlich in beiden Fällen sehr nötig, außerdem spielt die Disposition des Beobachters eine Rolle.

ad 2. Die Abhängigkeit der Coulombempfindlichkeit von der Größe des Ausschlages könnte bei der verhältnismäßig kleinen, zu der Kapazität des Elektrometers zugeschalteten Kapazität der Platte und ihrer Leitung von der früher für

die Voltempfindlichkeit bestimmten vielleicht merklich verschieden sein. Jene Abhängigkeit wurde deshalb mit Hilfe des Piezoquarzes für verschiedene, an dem ruhenden Lichtzeiger gemessene Ausschläge bestimmt. Es stellte sich dabei heraus, daß das Verhältnis zweier Mengen zugeführter Elektrizität etwas kleiner ist als das Verhältnis der diesen beiden entsprechenden Elektrometerablenkungen. Betrugen z. B. letztere 250 bzw. 230 Skalenteile — Werte, die den größten der bei den Versuchen zur Bestimmung des Temperaturkoeffizienten vorgekommenen nahelegen —, so ergab sich das erstgenannte Verhältnis — der Elektrizitätsmengen — zu 1,080, das letztere — der Elektrometerausschläge — zu 1,087; bei kleineren Ablenkungen ist der Unterschied entsprechend noch geringer, er konnte somit in allen Fällen unberücksichtigt bleiben.

ad 3. Da der Einfluß der Temperatur auf die L.-F. aus dem Verhältnis zweier an der *bewegten* Nadel beobachteten Ablenkungen abgeleitet werden sollte, so entstand die Frage, inwieweit diese Ablenkungen durch Trägheit der Nadel, bzw. durch Dämpfung ihrer Bewegung gefälscht sein können, mit anderen Worten, ob das beobachtete Verhältnis der Ablenkungen in genügend genauem Maße das gesuchte Verhältnis der bei zwei verschiedenen Temperaturen, unter sonst gleichen Umständen in der NaCl-Platte in Bewegung gesetzten Elektrizitätsmengen wiedergab. Daß die Fälschung nicht sehr beträchtlich sein konnte, war aus Früherem bekannt, ob sie aber bei den Versuchen zur Bestimmung des Temperaturkoeffizienten von beleuchtetem blauen NaCl zu Fehlern von etwa 1 Proz. Veranlassung geben könnte, mußte doch noch geprüft werden. Ich beschränkte diese Prüfung auf Ablenkungen von der Größe, wie sie bei jenen Bestimmungsversuchen vorkamen (vgl. Tab. XX u. XXII) und verfuhr dabei folgendermaßen. Die durch eine Temperaturerhöhung der Platte (von 19,9° auf 31,4°) bewirkte Vermehrung einer (durch 105,2 Volt erzeugten) Ablenkung kann natürlich statt durch eine Erhöhung der Temperatur auch durch eine entsprechende Erhöhung der an die Platte angelegten Spannung erreicht werden. Angenommen, daß das Ohmsche Gesetz gültig ist, so muß das Verhältnis der angelegten Spannungen das gleiche sein, wie das Verhältnis der beförderten Elektrizitätsmengen. Bei einem Vergleich dieses Spannungsverhältnisses mit dem Verhältnis der

beobachteten entsprechenden Ablenkungen wird sich somit herausstellen, inwieweit das letztere das gesuchte Mengenverhältnis wiedergibt. Die Anwendung dieser Prüfungsmethode setzt, wie gesagt, voraus, daß man weiß, daß das Ohmsche Gesetz zutrifft; im Vorhergehenden ist mitgeteilt, daß dies für beleuchtetes X-bestrahltes NaCl in dem weiten Spannungsgebiet von 2—1600 Volt der Fall ist, und zwar wurde dieses Ergebnis nicht aus einer Verschiedenheit der erzeugten Ablenkungen, sondern aus einwandfreien Kapazitätssmessungen abgeleitet. Ich glaube deshalb auf eine eingehende Wiederholung solcher Versuche mit beleuchtetem, blauen NaCl verzichten zu können, — um so mehr, als es sich speziell hier um das kleine Gebiet von etwa 105—115 Volt handelt — und den für das eine Präparat geführten Nachweis ohne weiteres auf das andere übertragen zu dürfen. Die Ergebnisse der erwähnten Versuche mit beleuchtetem, blauen NaCl bei ungefähr gleicher Temperatur und verschiedener Spannung sind unter Nr. 22 bis einschl. 27 in der Tab. XX enthalten und wurden außerdem nach Reduktion aller Ablenkungen auf eine gleiche Temperatur von 20,5° in der Tab. XXI dargestellt.

Tabelle XXI.

	Mittel der auf gleiche Temperatur reduzierten Gruppenwerte aus			Verhältnis von Reihe I zu II I zu III	
	I Vers. 23 u. 26	II Vers. 22 u. 27	III Vers. 24 u. 25		
	249,0	226,5	199,0	1,099	1,251
	114,5	104,5	92,5	1,096	1,238
	90,0	82,5	73,0	1,091	1,233
	77,5	70,0	62,5	1,109	1,240
	68,5	62,0	54,5	1,108	1,258
	62,0	56,0	50,0	1,107	1,240
Summe	661,0	601,5	530,5	1,099	1,246
Spannungen	115,5	105,2	94,5	1,098	1,222

Man erkennt, daß innerhalb des für die Temperaturkoeffizientenbestimmung in Betracht kommenden Intervalls der Ablenkungen, die den Spannungen von 115,5 bzw. 105,2 Volt entsprechen, das Verhältnis der Ablenkungen dem Verhältnis der Spannungen entspricht. Demnach können wir später bei der Bestimmung des Temperaturkoeffizienten ohne

Bedenken und ohne etwaige Korrektion die an der bewegten Nadel beobachteten Ablenkungen verwenden.

Daß in dem zum Überfluß noch geprüften Gebiet von 105,2—94,5 Volt keine so gute Übereinstimmung (Abweichung etwa 2 Proz.) erhalten wurde, ist für unsere Frage unwesentlich und ist wohl wieder durch die mehrfach erwähnten, gegen Ende der Versuchsreihe aufgetretenen Erscheinungen bedingt. Eine orientierende Prüfung der Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes in den Grenzen von 100—900 Volt gab keinen Anhaltspunkt für eine andere Erklärung.

Die Versuche über den Einfluß der Temperatur auf die L.-F., die nun bald im besonderen zur Sprache kommen werden, ergeben, daß bei höherer Temperatur größere Ablenkungen erhalten wurden als bei niedriger Temperatur, wenn alle anderen Faktoren gleich geblieben waren. Bevor daraus geschlossen werden konnte, daß die Temperatur die L.-F. erhöht, und in welchem Maße sie sie erhöht, mußte, namentlich in Anbetracht des geringen Unterschiedes zwischen jenen Ablenkungen, doch ein Bedenken, oder vielmehr deren zwei, die sich gegen die Berechtigung einer solchen Schlußfolgerung richteten, beseitigt werden. Der erste Verdacht richtete sich gegen das Elektrometer. Um verschiedene Temperaturen der NaCl-Platte zu erhalten, mußte die Zimmertemperatur durch Heizung, bzw. durch Öffnen der Fenster des Beobachtungsraumes, geändert werden; infolgedessen änderte sich auch die Temperatur im Innern des großen Blechkastens, wenn auch in engeren Grenzen, und damit die Temperatur der Schwefelsäure, die im Elektrometer der Nadel ihre Ladung zuführt und ihre Schwingungen dämpft. Da ich nun die Elektrizitätszufuhr, wie wiederholt gesagt, immer an der bewegten Nadel maß, erschien es nicht ausgeschlossen, daß sich eine Verlangsamung der Nadelbewegung, als Folge der durch Temperaturniedrigung vermehrten Viskosität der  $H_2SO_4$ , wesentlich an der beobachteten, der Verminderung der L.-F. der Platte zugeschriebenen Verringerung der Elektrometerablenkungen beteiligt hätte; ihre Nichtberücksichtigung würde demnach zu einer Überschätzung des gesuchten Temperaturkoeffizienten führen. Um hier Klarheit zu schaffen, wurde an verschiedenen Tagen je eine L.-F.-Bestimmung, die eine bei einer  $H_2SO_4$ -Temperatur von 4,7°, die andere bei 21,5°,

unter sonst gleichen Versuchsbedingungen angestellt, ohne daß gleichzeitig auch die Platte dieser großen Temperaturänderung unterworfen war. Das geschah in der Weise, daß die Zimmertemperatur von  $4,8^{\circ}$  bei beiden Versuchen nahezu erhalten blieb, dagegen die Temperatur des Inhalts des großen Blechkastens, also auch die des Elektrometers, von einem Versuch zum anderen die genannte Erhöhung durch elektrische Heizung erfuhr. Der zweite Versuch hat nun etwa 1 Proz. größere Ausschläge geliefert als der erste, trotzdem das Verhältnis von zwei aufeinander folgenden Schwingungsweiten der Nadel im ersten Falle 60, im zweiten 4,6 betrug. Es ist demnach in Anbetracht der bei den Versuchen über Temperatureinfluß auf die L.-F. verwendeten höheren Temperaturen und des engeren Temperaturintervalls sicher, daß diese Versuche nicht wesentlich von einer Veränderung der Viskosität der  $H_2SO_4$  beeinflußt wurden.

Der zweite Verdacht richtete sich gegen die zunächst angenommene Unabhängigkeit der Beleuchtungsintensität von der Zimmertemperatur. Daß die Lichtstärke der Nernstlampe durch eine bei unseren Versuchen vorkommende Änderung dieser Temperatur von etwa  $15^{\circ}$  merklich beeinflußt werden könnte, halte ich für ausgeschlossen. Dagegen schien es mir möglich zu sein, daß die in der Steinsalzplatte eindringende Lichtmenge durch Temperaturniedrigung eine Einbuße erleiden könnte infolge einer veränderten Beschaffenheit der Glyzerinsalzlösung, die die obere Elektrode bildete, oder auch der Plattenoberfläche, die mit dieser Lösung in Berührung stand, und zwar in beiden Fällen infolge von Ausscheidung von Salz. Bei einer nachfolgenden Erwärmung würde das Salz wieder aufgelöst werden und so käme vielleicht eine nur scheinbare Verminderung der L.-F. mit sinkender Temperatur zustande. Erfreulicherweise haben besonders draufhin gerichtete Versuche, bei denen die Temperaturänderungen wesentlich größer waren und länger andauerten als bei den L.-F.-Versuchen, diesen Verdacht als unbegründet erwiesen.<sup>1)</sup>

1) Es darf wohl an dieser Stelle noch auf das bereits auf S. 120 über den Einfluß der Form der Oberfläche der Glyzerinelektrode auf die in der Platte eindringende Lichtmenge Gesagte hingewiesen und die Bemerkung wiederholt werden, daß nur dann die Ergebnisse zweier Versuche miteinander verglichen werden dürfen, wenn man sicher ist,

Es wurde auch noch versucht, ob eine längere Zeit (12 Stunden) geerdete, verdunkelte, von Polarisation befreite Platte bei fortgesetzter Erdung, aber bei plötzlich eintretender Beleuchtung vielleicht einen Ausschlag lieferte als Folge eines Hallwachseffekts. Der Versuch ergab jedenfalls keinen hier in Betracht kommenden Ausschlag.

Allen Ablenkungswerten haftete der — während der ganzen aus der Tab. XX zu entnehmenden Versuchszeit genügend konstant gebliebene — Fehler der nicht vollständigen Isolation des Leitersystems an (vgl. Tab. XIX). Seine Berücksichtigung konnte unterbleiben, weil die Werte im Verhältnis zu ihrer Größe beeinflußt werden und wir nicht so sehr die absoluten Werte der Stromstärke als wohl ihr gegenseitiges Verhältnis erfahren wollten. Sorgfältig wurde darauf acht gegeben, daß die nahe bei der Platte liegende Thermometerkugel möglichst genau die Temperatur der Platte hatte. Da die Herstellung von gewünschten Temperaturänderungen durch Erwärmen oder Abkühlen der Zimmerluft geschehen mußte, war es notwendig, hiermit viele Stunden vor dem betreffenden Versuch anzufangen und Heizung und Abkühlung so zu regulieren, daß das Thermometer schon längere Zeit vor dem Versuch und erst recht während des Versuchs seinen Stand nur mehr äußerst wenig oder gar nicht änderte.

■ Über die Erscheinungen der Erholung bzw. der Ermüdung, die die Versuchsergebnisse sehr beeinflussen können, wird weiter unten berichtet werden, und ich möchte nun nach der mitgeteilten Sicherstellung der Versuchsergebnisse endlich zu der speziellen Besprechung der Versuche zur Bestimmung des Temperatureinflusses auf die L.-F. des blauen Steinsalzes übergehen.

Es liegt eine große Anzahl von solchen Versuchen vor; alle führten auf eine Zunahme der L.-F. mit wachsender Temperatur, dagegen zeigten die ersten — und es sind die meisten — keine befriedigende Übereinstimmung in ihren Ergebnissen, und in diesen anfänglich immer wieder vorkommenden Unstimmigkeiten ist der Hauptgrund gelegen, weshalb auch dieser

---

daß sich nicht zwischendurch etwa durch Abnehmen und Wiederaufsetzen des Kästchendeckels zur Erneuerung der  $H_2SO_4$ , oder durch eine Verstellung des in die Lösung eingetauchten Zuleitungsrahmes etwas an der Form dieser Oberfläche geändert hat.

Teil der Untersuchung eine so lange Zeit beanspruchte. Befriedigende Verhältnisse traten erst ein, nachdem insbesondere der große Einfluß genügend bekannt und berücksichtigt worden war, den die Vorbehandlung der Steinsalzplatte in bezug auf Beleuchtung usw. auf die Versuche ausübte. Für die Berechnung des Temperaturkoeffizienten kommen infolgedessen nur die verhältnismäßig wenigen Versuche in Betracht, die in Tab. XX aufgeführt sind und von diesen hauptsächlich nur die zuletzt mit besonderer Sorgfalt ausgeführten Nr. 19 bis einschl. Nr. 22. Die ersten Versuche Nr. 5, 6, 7, 8, 12 und 13 sind zum Teil noch beeinflußt von der oben schon erwähnten allmählichen Angewöhnung der Platte an die nach Versuch Nr. 1 eingetretenen Beleuchtungsverhältnisse, und außerdem fehlt für sie infolge der unerklärten Spannungsänderung der Lampenstromstärke von 0,460 auf 0,493 Ampere vor Versuch Nr. 5 der sichere Anschluß an die vorhergehenden Versuche bei niedrigerer Temperatur. Doch sei bemerkt, daß auch diese Versuche zu Werten des Temperaturkoeffizienten führen, die nur wenig von dem unten anzugebenden zuverlässigen Wert abweichen.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Versuche Nr. 19 bis einschl. Nr. 22 der Tab. XX nach Reduktion auf eine gleiche Wattzahl (mit Hilfe der Beziehung von S. 144) und nach Mittelnahme zusammengehöriger Werte aufgeführt und außerdem das Verhältnis, in dem jeder Gruppenwert infolge einer Temperaturerhöhung von  $19,9^{\circ}$  auf  $31,4^{\circ}$  vergrößert wurde.

Tabelle XXII.

	Mittel aus den auf gleiche Wattzahl reduzierten Gruppenwerten von Vers. 19 u. 22      Vers. 20 u. 21	Verhältnis Reihe II zu I	
	I	II	
	231,2	251,0	1,086
	105,8	114,8	1,085
	83,1	90,3	1,087
	70,9	76,8	1,083
	62,0	67,8	1,094
	56,5	61,0	1,080
Summe:	609,5	661,7	
Temperaturmittel:	$19,9^{\circ}$	$31,4^{\circ}$	

Erwähnenswert ist außer einer erfreulichen Übereinstimmung in den Verhältniszahlen untereinander, daß der Temperatureinfluß auf die Stromstärke trotz der in den 6 Minuten Versuchsdauer bedeutend gestiegenen Polarisation der gleiche geblieben ist; ein Einfluß der Ladungsdauer auf den Temperaturkoeffizienten, den wir bei unbestrahltem NaCl fanden, ist somit in diesem Zeitintervall nicht bemerkbar. Was die Größe des *Temperatureinflusses auf die L.-F. des beleuchteten, blauen NaCl* anbetrifft, so ergeben die beiden letzten Zahlenreihen für den Koeffizienten  $1/\alpha d\alpha/dt$  in dem gewählten Temperaturgebiet den Wert 0,00714. Von unseren anderen Steinsalzpräparaten liegt das beleuchtete, X-bestrahlte NaCl mit seinem Koeffizienten 0,011 am nächsten, und es kann sogar die Möglichkeit nicht von der Hand gewiesen werden, daß eine genauere Bestimmung dieses Wertes, die wegen der früher erwähnten Schwierigkeiten noch nicht möglich war, zu einer besseren Übereinstimmung mit dem Wert 0,00714 führen würde. Die Temperaturkoeffizienten des unbestrahlten NaCl (0,08 bis 0,17 je nach der Ladungsdauer) sind unzweifelhaft vielmals größer; die bei der Elektrizitätsbewegung sich nach einer etwas länger andauernden Ladung in der Hauptsache abspielenden Vorgänge dürften daher in diesem Falle andere gewesen sein, als in den beiden zuerst erwähnten Fällen.

Auf die einwandfreie Festsetzung der Tatsache, daß die L.-F. mit steigender Temperatur zunimmt und auf die Ermittlung eines möglichst zuverlässigen Temperaturkoeffizienten habe ich geglaubt besonders Gewicht legen zu müssen, und deshalb halte ich es für angemessen, wenn zur Erledigung dieser Aufgabe eine beträchtliche Zeit und Arbeit verwendet wurde.

Es war bei den vorhergehenden Mitteilungen einige Male die Rede von der *Erholung* genannten Erscheinung; bei den Versuchen mit X-bestrahltem NaCl ist diesem Gegenstand ausführlich Erwähnung getan. Es ist von Interesse, über das bei blauem NaCl in dieser Beziehung Gefundene zu berichten. Die Erholung besteht, wie schon früher gesagt, darin, daß eine Platte, die eine Zeitlang Beleuchtung und Spannung ausgesetzt war und dann bei stets unverändert bleibender Spannung auf einige Zeit verdunkelt wurde, bei wieder ein-

getretener Beleuchtung einen Strom von größerer Stärke liefert, als sich ohne Einschaltung dieser Verdunklungspause zur Zeit, wo die Beleuchtung unterbrochen wurde, ergeben hätte.

Als Beispiel für das Auftreten dieser Erscheinung sei folgender Versuch beschrieben. Nachdem durch Versuche, die in der oben angegebenen Weise ausgeführt waren, festgestellt war, wie die Platte sich bei bestimmter Ladung, Beleuchtung und Temperatur in bezug auf ihre L.-F. verhielt, wurde ein neuer Versuch unter gleichen Bedingungen angefangen, diesmal aber durch eine einstündige Verdunklung in dem Augenblick unterbrochen, wo sonst mit der Messung der zur dritten Gruppe gehörenden Stromstärken angefangen wurde. Diese Messung folgte erst beim Wiedereintreten der Beleuchtung und ergab in Summe eine Elektrometerablenkung von 92 Skalenteilen. Wäre dieser dritte Gruppenwert in sonst gewohnter Weise, d. h. ohne Verdunklung nach der zweiten Gruppe, beobachtet worden, so hätte nach den angegebenen Vorversuchen diese Ablenkung 78 Skalenteile betragen. Demnach war durch eine einstündige Verdunklung der stets geladenen Platte eine Erholung von 14 Skalenteilen eingetreten. Nach Ablauf der dritten Versuchsperiode wurde die Platte wiederum verdunkelt und verblieb in diesem Zustande 18 Stunden lang. Als sie dann wieder plötzlich beleuchtet wurde, erhielt ich in 30 Sekunden als vierten Gruppenwert 103,5 Skalenteile, anstatt 69, die sich ergeben hätten, wenn diese vierte Gruppenbeobachtung ohne vorhergehende Unterbrechung der Beleuchtung gemacht worden wäre.

Bemerkenswert ist noch die zeitliche Abnahme der sechs in je 5 Sekunden erhaltenen Ausschläge dieser vierten Gruppe; die Ausschläge betrugen 22, 18,5, 16,5, 16, 16, 14,5 Skalenteile. Sie zeigen eine viel raschere Abnahme im Anfang als die Ausschläge, die in der ohne vorhergehende Verdunklung erhaltenen Gruppe vorgekommen wären. Diese hätten folgenden Betrag gehabt: 12,5, 12, 11, 11, 11, 11,5 Skalenteile. Auch soll noch erwähnt werden, daß, als der besprochene Erholungsversuch durch vier weitere Gruppenbeobachtungen, die nun wieder in Fausen von 30 Sekunden bei fort dauernder Beleuchtung aufeinander folgten, ergänzt worden war, der letzte Gruppenwert (der achten Gruppe) ungefähr dieselbe Größe hatte, wie der der sechsten Gruppe bei einem ohne Unterbrechung

der Beleuchtung verlaufenen Versuch, so daß man sagen kann, daß die eingetretene Erholung durch eine 5 Minuten lange Beleuchtung und Ladung zum größten Teil rückgängig gemacht worden war. Ein übersichtliches Bild der geschilderten Verhältnisse gibt die folgende Zeichnung (Fig. 9).

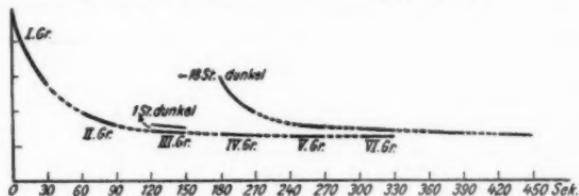


Fig. 9.

Die stärker ausgeführte Kurve bezieht sich auf die Versuche ohne Dunkelpausen, und zwar sollen die ausgezogenen Teile den Verlauf der beobachteten Stromstärken darstellen; die punktierten Teile bilden die Ergänzung dazu. Die schwächer gezeichneten Kurven, von denen der erste Abschnitt bis zur Abszisse 120 Sekunden mit dem stärker ausgezogenen zusammenfallend zu denken ist, gibt die beim Erholungsversuch gefundenen Verhältnisse wieder.

Die Größe der Erholung hatte demnach mit der Zeit der Verdunklung zugenommen; nach welchem Gesetz mußte noch unbekannt bleiben.

Ähnliche Ergebnisse erhielt ich bei Entladungsversuchen: Auch hier beobachtete ich eine Erholung, wenn die Platte bei gleichbleibender Spannung (jetzt = 0) eine genügende Zeit verdunkelt gewesen war.

Sehr deutlich macht sich die Erholung bemerkbar bei Versuchen, die ich zu diesem Zwecke in der Tab. XX wieder gegeben habe; man erkennt gleichzeitig aus ihnen, welchen Einfluß die Erscheinung auf die Leitungsversuche haben kann. Versuch Nr. 15 wurde angestellt, nachdem die geerdete Platte nicht wie sonst nur etwa 9 Stunden, sondern 10 Tage im Dunkeln geblieben war. Die erhaltenen Stromstärken, sowohl jeder einzelne Gruppenwert als auch ihre Summe, sind beträchtlich größer als die bei Innehaltung der täglichen Pausen erhaltenen. Ihr zeitlicher Abfall ist, wie aus den beiden letzten Kolonnen der Tabelle ersichtlich ist, deutlich stärker als sonst.

Es geht also aus diesen Ergebnissen hervor, daß die gewöhnliche, etwa neunstündige Verdunklung nicht genügte, um eine vollständige Erholung der Platte von der vorhergegangenen Behandlung zu erreichen. Der nächste, nun wieder am folgenden Tage angestellte Versuch Nr. 16 ergab noch zu große Werte; auch der am zweitfolgenden Tage erhaltene Wert ist noch zu groß, ja sogar am dritten Tage scheint die Platte noch nicht ganz frei von dem Einfluß der langen Verdunklung gewesen zu sein. Es kann also eine Unterbrechung der regelmäßigen Behandlung der Platte das Ergebnis von Leitungsversuchen auf mehrere Tage sehr beeinflussen und es wird verständlich werden, wenn ich auf S. 141 angegeben habe, daß das allmähliche Steigen der in Kolonne 14 der Tab. XX enthaltenen Verhältniszahlen in den ersten Tagen der mitgeteilten Versuchsreihe von einer vorhergehenden besonderen Behandlung der Platte herrühren könnte.

Auch der letzte Versuch (Nr. 29) der Tab. XX zeigt in gleicher Weise den Einfluß einer längeren Verdunklung auf einen folgenden Entladungsversuch: Vergrößerte Stromstärken und deren beschleunigte zeitliche Abnahme.

Der etwas zu große Wert von Versuch Nr. 12, den wir schon auf S. 140 erwähnten, hat vermutlich seinen Grund in einer größeren Erholung der Platte, die eingetreten war, weil bei den vorhergegangenen Versuchen eine geringere Beleuchtungsstärke verwendet wurde.

Da bekanntermaßen eine sehr starke Erwärmung des Steinsalzes seine Färbung und seine Lichtempfindlichkeit ganz zerstören kann, lag es nahe, zu versuchen, ob vielleicht schon eine Temperaturerhöhung, wie sie mit der Platte bei den Temperaturkoeffizientenbestimmungen vorgenommen wurde (auf etwa 31°) imstande war, die Erholung merklich zu beeinflussen. Dazu wurde in den Zyklus der in regelmäßigen Pausen angestellten Leitungsversuche bei Zimmertemperatur ein Versuch eingeschaltet, bei dem während der Dunkelheit eine Temperaturerhöhung auf etwa 30° mit nachfolgender Abkühlung stattgefunden hatte; es ist das der Versuch Nr. 18 der Tabelle. Aus den dort angeführten Zahlen ist zu entnehmen, daß der gesuchte Einfluß einer Temperaturerhöhung von dem angegebenen, freilich geringen Betrag jedenfalls sehr klein ist. (Vgl. den soeben angegebenen Grund für den etwas zu großen

Wert dieses Versuchs.) Mit diesem Versuch wird ein Einwand hinfällig, den man gegen die oben beschriebenen Versuche über den Einfluß der Temperatur der L.-F. machen könnte, daß nämlich die durch Temperaturerhöhung bewirkte Vergrößerung der L.-F. vielleicht nicht eine direkte Folge dieser Erhöhung sei, sondern die Folge einer durch Erwärmung beschleunigten Erholung.

Es ist ja sehr wahrscheinlich, daß einer Erholung durch Verdunklung eine *Ermüdung* als Folge einer Beleuchtung vorangegangen ist, und man könnte vielleicht denken, daß die bei allen Ladungsversuchen mit beleuchtetem blauen NaCl beobachtete zeitliche Abnahme der Stromstärke, die wir als Folge einer Polarisation auffaßten, ganz einer solchen Ermüdung zuzuschreiben sei. Das geht aber nicht an, denn mit dieser Auffassung steht, wie schon oben einmal erwähnt, das Auftreten und das Verhalten des Entladungsstromes, der mit der Erdung der beleuchteten Platte einsetzt, nicht im Einklang. Es ist vielmehr anzunehmen, daß diese zeitliche Abnahme des Ladungsstromes auf zweierlei Ursachen beruht: auf Polarisation und auf Ermüdung und ich legte mir, wie bei den Versuchen mit beleuchtetem X-bestrahlten NaCl, die Frage vor, ob man nicht beide Einflüsse gesondert wahrnehmen könnte. Eine Möglichkeit dazu schien sich zu bieten durch Prüfung der Frage, ob und inwieweit das Superpositionsgesetz, das aussagt, daß die Summe der auf die Zeiteinheit reduzierten Elektrometerausschläge — der Stromstärken — die zuletzt vor, bzw. sofort nach dem Ableiten der Platte zur Erde beobachtet werden, gleich dem zu Anfang der Ladung erhaltenen reduzierten Ausschlag sein soll, zutrifft oder nicht. Ergäbe sich ersteres, so würde man schließen, daß während des Durchgangs des Ladungsstromes durch die beleuchtete Platte keine merkliche Ermüdung stattfand; findet man aber jene Summe kleiner als die Anfangstromstärke, so hat man Grund für die Annahme, daß der Betrag der Abweichung ein Maß für die eingetretene Ermüdung ist. Bei der Besprechung der gleichen Angelegenheit, die sich auf beleuchtetes X-bestrahltes NaCl bezog (vgl. S. 106) kamen wir zu dem Ergebnis, daß das Superpositionsgesetz in jenem Fall keine Entscheidung herbeibringen konnte und zwar deshalb, weil bei diesem Präparat eine richtige.

d. h. wieder verschwindende Ermüdung nach dieser Methode nicht zu unterscheiden gewesen wäre von der Abnahme der Stromstärke, die eine Folge ist von dem im Verlauf der Zeit bei X-bestrahltem NaCl unter allen Umständen stattfindenden, durch Beleuchtung beschleunigten und nicht ohne wiederholte X-Bestrahlung zu ersetzenden Verlust seiner Lichtempfindlichkeit. Letztere Erscheinung kommt nun, wie schon erwähnt, bei dem blauen Steinsalz wenigstens in gleicher Weise<sup>1)</sup> nicht merklich vor, und deshalb kann das Superpositionsgesetz hier den gewünschten Dienst tun.

Ich habe deshalb mit dem blauen NaCl einige Ladungs-Entladungsversuche angestellt und zwar nach dem gleichen wie auf S. 136 mitgeteilten Schema nur mit etwas anderer Beleuchtungsstärke und Vorbereitung.<sup>2)</sup> Um bei der Entladung möglichst gleiche Versuchsbedingungen wie bei der Ladung zu erhalten, wurde sofort nach Beendigung der zur sechsten Gruppe des Ladungsversuchs gehörenden Beobachtungen die Platte zuerst verdunkelt, dann geerdet und erst 6 Minuten nach der Erdung dem Licht der Nernstlampe ausgesetzt. Mit dieser Beleuchtung setzte der kräftige Entladungsstrom ein, dessen zeitlicher Verlauf in gleicher Weise wie beim Ladungsstrom beobachtet wurde. Von einem dieser sehr gut untereinander übereinstimmenden Versuchen sei das Nähere mitgeteilt. Die Einzelwerte der ersten Gruppe des Ladungsversuches waren: 46, 33, 30, 27, 25, 24 Skalenteile.

1) Es liegt nahe, im blauen NaCl selbst eine dauernd tätige Strahlenquelle zu vermuten, die einen entstehenden Verlust an Lichtempfindlichkeit immer wieder zu ersetzen vermag. Eine Ermüdung würde nach dieser Vorstellung eintreten, wenn infolge von Beleuchtung mehr an Lichtempfindlichkeit zerstört wird, als diese Strahlung erzeugt; eine darauf nach Verdunklung beobachtete Erholung bestünde dann in einem Wiederherstellen des anfänglichen Gleichgewichtes zwischen Erzeugen und Verschwinden der Lichtempfindlichkeit. Diese Annahme würde nicht in Widerspruch stehen mit dem folgenden Satz des Textes, führt aber zu schwer mit der Erfahrung zu vereinbarenden Konsequenzen. Zu diesen Erfahrungen gehört z. B. die Tatsache, daß das blaue NaCl im Dunkeln keine auffallend größere Leitfähigkeit besitzt als das ebenfalls verdunkelte X-bestrahlte und weiter, daß die als Nachwirkung von hell auf dunkel bezeichnete Erscheinung bei beiden Präparaten so sehr verschieden stark ausgeprägt ist.

2) Die Versuchsergebnisse sind nicht in der Tabelle enthalten.

Die der letzten, sechsten Gruppe: 9,5, 10, 9, 10, 9, 9 Skalenteile. Die Gruppenwerte der sechs Gruppen betrugen 185, 98, 79, 68,5, 62, 56,5 Skalenteile. Die entsprechenden Zahlen für den Entladungsstrom waren: Einzelwerte der ersten Gruppe: 30,5, 21, 17, 15, 13, 12 Skalenteile; die Gruppenwerte: 107, 41, 28, 22, 18, 15 Skalenteile. Spannung und Stromstärke der Lampe, sowie Temperatur waren bei der Ladung dieselben wie bei der Entladung. Die Ladespannung betrug 103,5 Volt. Nach dem Superpositionsge setz ist der erste Wert der ersten Gruppe des Ladungsversuches (46 Skalenteile) mit der Summe von dem letzten Wert der sechsten Gruppe dieses Versuchs (9 Skalenteile) und dem ersten Wert der ersten Gruppe des Entladungsversuches (30,5 Skalenteile), also mit 39,5 Skalenteilen zu vergleichen. Der dabei sich ergebende Unterschied von 6,5 Skalenteilen stellt den Betrag der Abweichung vom Superpositionsge setz dar und wäre nach dem obigen als die Größe der bei diesem Ladungsversuch während der 6 Minuten dauernden Beleuchtung eingetretenen Ermüdung zu betrachten. Allein bei näherer Überlegung, insbesondere nach Betrachtung der Kurven, die man sich mit Hilfe obiger Werte gezeichnet hat, stößt man doch noch auf ein Bedenken; die beiden Kurven verlaufen in ihrem sich auf die ersten Gruppen beziehenden Teil so steil und veränderlich, daß es vielleicht doch nicht ohne weiteres gestattet sein dürfte, die in dieser Versuchsperiode in je 5 Sekunden erhaltenen Ablenkungen des Elektrometers als ein Maß für die auf die Zeiteinheit reduzierten Stromstärken zu halten, auf die sich doch nur das Gesetz beziehen kann. Eine ganz einwandfreie Entscheidung über die Frage, ob eine Ermüdung stattgefunden hat oder nicht, liefern obige Versuche somit zunächst doch noch nicht. Erst nach Berücksichtigung der Ergebnisse eines andern Versuches, von dem gleich die Rede sein wird, wird man mit ziemlicher Sicherheit schließen dürfen, daß der beschriebene Versuch wirklich das Vorhandensein einer Ermüdung erkennen ließ.

Dieser neue Ladungs-Entladungsversuch wurde kurze Zeit nach dem vorhin beschriebenen angestellt. Zum Unterschied von jenem vorhergehenden wurde jetzt die Platte benutzt, nachdem sie auf einem unten zu beschreibenden Weg vorher kräftig ermüdet worden war, so daß man nach gemachten Erfahrungen erwarten konnte, daß sie während des nun folgenden,

verhältnismäßig kurz dauernden Versuches nur noch wenig mehr ermüden würde. Dieser Versuch ergab folgendes:

Einzelwerte der ersten Gruppe des Ladungsversuches:

38, 29, 26, 22, 21, 22 Skalenteile.

Einzelwerte der letzten Gruppe des Ladungsversuches:

9, 9, 8, 9, 8,5, 9 Skalenteile.

Gruppensummen des Ladungsversuches:

158, 88, 72, 63, 57, 52,5 Skalenteile.

Einzelwerte der ersten Gruppe des Entladungsversuches:

29, 19, 15, 14, 12, 11 Skalenteile.

Gruppensummen des Entladungsversuches:

100, 38, 26, 20, 16,5, 18,5 Skalenteile.

Hier zeigte sich nun mit Zugrundelegung der in 5 Sekunden erhaltenen Ausschläge, daß das Superpositionsgesetz zutraf. Es ist nämlich  $38 \text{ Skt.} = 9 + 29 \text{ Skt.}$  Die in 5 Sekunden beobachteten Ausschläge, gegen deren Anwendung vorhin Verdacht geschöpft wurde, haben sich somit doch als genügend sicher für eine Prüfung des Gesetzes erwiesen; denn die aus ihnen abzuleitende Schlußfolgerung, daß keine merkliche Ermüdung in dem gegebenen Falle vorhanden war, stimmt mit den Tatsachen überein. Folglich war auch ihre Verwendung bei dem vorher besprochenen Versuch einwandfrei, d. h. jener Versuch führte mit größter Wahrscheinlichkeit auf das Vorhandensein einer Ermüdung.

Ich kann aber auch einen direkten Beweis für die Richtigkeit der Angabe beibringen, daß das blaue NaCl durch Beleuchtung allein, also auch ohne gleichzeitigen Stromdurchgang sich ermüdet, d. h. vorübergehend unempfindlicher wird. Diesen Beweis hat ein Ladungsversuch geliefert, der in die Reihe der übrigen, in den angegebenen regelmäßigen 24stündigen Pausen angestellten Versuchen in der Weise eingeschaltet wurde, daß ihm nicht nur die gewohnte Wartezeit von 24 Stunden mit dem angegebenen Wechsel von Beleuchtung und Verdunklung bei Erdung voranging, sondern noch ein ganzer Tag mit dauernder Beleuchtung der geerdeten Platte. Die Beleuchtung geschah, um die Nernstlampe nicht länger als nötig zu beanspruchen, mit der jetzt in 20—25 cm Entfernung aufgestellten 50kerzigen Metallfadenlampe, deren Strahlung durch eine 9 cm dicke Wasserschicht gefiltert war.

Vorangegangene und nachfolgende, in normalem Tempo angestellte Versuche bei nahezu gleicher Temperatur, Ladespannung und Nernstlampenbeleuchtung hatten untereinander befriedigende, übereinstimmende Werte der Stromstärken ergeben, so daß ich sicher war, daß die Platte diese Werte auch geliefert haben würde, wenn sie nicht durch die eingeschaltete 24ständige Beleuchtung besonders vorbereitet gewesen wäre. Diese normalen Gruppenwerte betrugen: 185, 98, 79, 68,5, 62, 56,5 Skalenteile; die mit der besonders vorbereiteten Platte dagegen: 158, 88, 72, 63, 57, 52,5 Skalenteile.<sup>1)</sup>

Hier läßt sich somit die in 24 Stunden eingetretene Ermüdung ohne weiteres deutlich erkennen. Ihr Einfluß macht sich während des ganzen Versuchs bemerkbar, aber, wie man aus den Verhältniszahlen entsprechender Gruppenwerte 1,15, 1,12, 1,10, 1,10, 1,10 und 1,08 ersieht, in mit der Zeit abnehmendem Maß, was sich ja erwarten ließ.

Schließlich finden wir auch in der mehrfach erwähnten Tab. XX einen Versuch, der den Einfluß einer durch Beleuchtung, und zwar diesmal einer sehr kurzen, bewirkten Ermüdung auf die nachfolgende L.F. Bestimmung zeigt. Es ist das der Versuch Nr. 4. Der erste dort verzeichnete Gruppenwert ist merklich kleiner als der bei den vorhergehenden Versuchen erhaltene und zwar infolge einer unbeabsichtigten, kurz vor dem Versuch stattgefundenen, etwa nur 40 Sekunden dauernden Beleuchtung mit der Nernstlampe. Diesmal erstreckte sich der Einfluß dieser Beleuchtung entsprechend ihrer kurzen Dauer nur auf den Anfang der Versuchszeit.

Zusammenfassend können wir sagen: *Eine Ermüdung des blauen Steinsalzes tritt infolge von Beleuchtung mit weißem Licht, sowohl bei Stromdurchgang, als auch ohne Strom ein. Eine Erholung von dieser Ermüdung findet durch Verdunklung ebenfalls in beiden Fällen statt. Die Dauer des Fortbestehens einer Ermüdung nach eingetretener Verdunklung sowie auch ihre Größe hängt von Dauer und Intensität der sie erzeugenden Beleuchtung ab.* Welche Wellenlänge am wirksamsten ist, ob der Stromdurchgang etwa einen beschleunigenden Einfluß ausübt, wie der zeitliche Verlauf beider Erscheinungen be-

1) Dieser Versuch ist der bereits auf S. 106 erwähnte.

schaffen ist, wurde bisher nicht untersucht. Jedenfalls muß dieser Verlauf derartig sein, daß ein Gleichgewicht zwischen der bei jedem Ladungsversuch entstandenen Ermüdung und der darauffolge<sup>ende</sup> Erholung zustande kommen kann, nachdem die Platte eine genügende Anzahl von Malen einer gleichbleibenden Behandlung unterworfen war. Innerhalb einer Temperaturänderung von 18—30° war ein Temperatureinfluß auf beide Erscheinungen nicht zu bemerken.

Aus dem in den letzten Abschnitten Mitgeteilten ist zu entnehmen, daß in den nahezu 24stündigen Pausen, die je zwei Ladungsversuche in der Regel voneinander trennten (vgl. S. 185), folgendes vor sich ging. In dem ersten Teil dieser Pause, in der die geerdete Platte dauernd beleuchtet wurde, verschwand jedenfalls zum größten Teil die Polarisation; die Beleuchtung war nötig, um diesen im Dunkeln sehr langsam verlaufenden Prozeß zu beschleunigen. Gleichzeitig vermehrte sich die bei dem vorhergehenden Ladungsversuch schon eingetretene Ermüdung. In dem zweiten Teil der Pause, wo die Platte verdunkelt war, trat eine, wenn auch nicht bis zum vollständigen Verschwinden der Ermüdung genügende, doch soweit reichende Erholung ein, daß die durch einige Tage hindurch in der gleichen Weise behandelte Platte sich zum Beginn eines neuen Ladungsversuches wieder in demselben Ermüdzugzustand befand wie am Anfang des vorhergegangenen Versuchs. In dieser Weise konnten Versuchsergebnisse erhalten werden, die untereinander vergleichbar sind.

Man wird weiter verstehen, daß die beiden Erscheinungen, so lange ihr Einfluß noch nicht genauer bekannt geworden war, verwirrend auf die Untersuchung eingewirkt und deshalb die Fertigstellung der Arbeit lang verzögert haben. Bei einer eventuellen Fortsetzung der Untersuchung wird man die beiden genannten Faktoren wohl auch noch genauer berücksichtigen müssen als bisher geschah, wozu vor allem wieder eine genauere Kontrolle der Beleuchtungsintensität erforderlich sein würde. Eine zur Beschleunigung der Arbeit sehr erwünschte Abkürzung der Pausen wird sich dann in manchen Fällen vielleicht auch erreichen lassen und ähnliches mehr.

Die beschriebenen Versuche mahnen auch zur Vorsicht, wenn es sich darum handeln würde, zu beurteilen, ob eine Platte aus blauem NaCl polarisationsfrei und nicht er<sup>endet</sup>

ist; eine beliebige, etwa aus einem Vorrat entnommene, bis dahin nicht zu Ladungsversuchen verwendete Platte dürfte jedenfalls nicht ohne weiteres als frei von Polarisation und Ermüdung betrachtet werden; für gewöhnlich ist ihre Vergeschichte so, daß das Gegenteil der Fall ist.

Es sei gestattet, noch über einige verwandte Erfahrungen hier Mitteilung zu machen.

Den Versuchen der Tabelle waren viele vorausgegangen, bei denen in den Pausen die Verdunklung der längeren Beleuchtung nicht gefolgt, sondern vorangegangen war. Sie lieferten, wie jetzt verständlich ist, infolge stärkerer Ermüdung des NaCl kleinere Werte der Stromstärke als die der Tabelle, und die Stromstärke nahm während eines jeden Versuchs rascher ab als bei den mitgeteilten Versuchen.

Oben wurde schon erwähnt, daß die ersten Versuche der Tab. XX wahrscheinlich noch unter dem Einfluß von vorhergegangenen Versuchen standen. Von diesen früheren Versuchen waren nur wenige zur Beantwortung der in diesem Abschnitt behandelten Fragen verwendbar, weil sie keine genügend untereinander übereinstimmenden Ergebnisse geliefert hatten. Der erst gegen Ende dieser älteren Versuchsreihe erkannte Grund für diesen Mangel lag zum Teil in nicht genügender Konstanthaltung des Nernstlampenstromes, zum Teil darin, daß die damals zur Entfernung der Polarisation verwendete Tageslichtbeleuchtung von Tag zu Tag zu veränderlich war.

Ein gutes Beispiel für die von der Erholung abgesehenen Erhaltung des elektrischen Zustandes einer lichtempfindlichen Steinsalzplatte im Lauf einer gewissen Zeit liefert das Verhalten des blauen Steinsalzes nach dem Ladungs-Entladungsversuch, der auf S. 157 erwähnt wurde. Da die Arbeit für eine Zeitlang unterbrochen werden mußte, wurde die gleich nach der letzten Bestimmung des Entladungsstromes verdunkelte Platte aus ihrem Kästchen herausgenommen und dann mit ihrer Fassung in einem Exsikkator im Dunkeln 21 Tage lang aufbewahrt; ihre beiden Belegungen waren dabei isoliert. Nach Ablauf dieser Zeit wurde die untere Belegung der Platte an der Stelle, wo der Anschluß an die Elektrometerleitung stattfindet, bei mäßigem Tageslicht etwas nachgraphitiert; darauf wurde die Platte wieder in ihr Kästchen verbracht, verdunkelt und auf beiden Seiten geerdet. Einige

Minuten später wurde sie zuerst im Dunkeln auf Polarisation geprüft — mit negativem Resultat — und dann mit dauernd geerdeter oberer Elektrode plötzlich der Beleuchtung der Nernstlampe ausgesetzt. Bei der gleichzeitig angefangenen Bestimmung der entstehenden Elektrometerausschläge ergab sich nun folgendes: in den ersten 5 Sekunden ein positiver Ausschlag von 0,8 Skalenteilen, in den folgenden Zeitabschnitten wachsende, später langsam abnehmende negative Ausschläge. Das Maximum dieser negativen Ausschläge, etwa 7 Skalenteile pro Minute, wurde etwa 1 Minute nach Anfang der Beleuchtung erreicht. Nach früheren Erfahrungen sind nun diese negativen Ausschläge sicher als im Dunkeln erhaltene Reste der Polarisation anzusprechen, die etwa 3 Wochen vorher in der positiv geladenen Platte erzeugt wurde; ihre letzte damalige Bestimmung hatte bei Beleuchtung etwa 30 Skalenteile pro Minute ergeben. Wie erklärt sich aber der am Anfang der neuen Bestimmung beobachtete positive Ausschlag und das in der ersten Minute wahrgenommene Ansteigen der negativen Ausschläge? Beide beruhen offenbar auf einer und derselben Ursache: Anfänglich trat positive Elektrizität auf, deren Betrag in den ersten 5 Sekunden größer war als der der normalerweise vorhandenen negativen Polarisationselektrizität; die Zufuhr der ersten Elektrizitätsart nahm dann allmählich ab, so daß die letztere mehr und mehr in die Erscheinung trat. Es fragt sich nur, welchem Vorgang dieses Auftreten von positiver Elektrizität zuzuschreiben ist. Ich kann nicht das vorhergegangene geringe Graphitieren der unteren Belegung als Ursache ansehen und denke mir vielmehr, daß sich folgendes zugetragen haben könnte. Im Dunkeln nahm erfahrungsgemäß der Polarisationszustand der vorher geladenen Platte sehr langsam — außerordentlich viel langsamer als bei Beleuchtung — ab; während nun, wie es der Fall war, die Platte mit gut isolierten Belegungen längere Zeit unbenutzt lag, entstand als Folge der Abnahme der Polarisierung in ihr — an welchen Stellen bleibe unbestimmt — ein Zustand — eine Art Selbstaufladung —, der dem ähnlich ist, wie er in einer noch mit von positiver Ladung herrührender Polarisierung behafteten Glasplatte durch eine schwächere Neuladung mit negativer Elektrizität erzeugt werden kann. Durch Versuche von Hopkinson, die gelegentlich vor manchen

Jahren im hiesigen Institut von Hrn. J. Brentano in der Hauptsache bestätigt wurden — ist bekannt, daß eine so vorbereitete Leidener Flasche bei geeigneter Wahl der Ladungszeiten bei ihrer Entladung unmittelbar aufeinanderfolgend zuerst einen positiven und darauf einen negativen Rückstand liefert. Das ist aber in bezug auf den Wechsel, der bei der Entladung aufgetretenen Elektrizitätsarten genau dasselbe Verhalten, das unsere beleuchtete NaCl-Platte zeigte.

Ich hielt es deshalb für erwünscht, über diese bei Glas wahrgenommene doppelte Polarisationsbildung auch mit blauem NaCl einen direkten Versuch zu machen. Es wurde die Platte zu diesem Zweck bei Beleuchtung 2 Minuten lang mit +100 Volt geladen und dann diese Ladung bei fortgesetzter Beleuchtung plötzlich mit einer von -50 Volt vertauscht, die eine Minute lang erhalten blieb. Nach Verdunklung wurde geerdet und 20 Minuten später mit der Beleuchtung und der Beobachtung des Entladungsstromes begonnen. Dabei ergab sich in den ersten 10 Sekunden eine das Auftreten von positiver Elektrizität anzeigen verzögerte Bewegung des Lichtzeigers — im ganzen entstand ein Ausschlag von 7 Skalenteilen — und darauf folgend eine zuerst beschleunigte, dann verlangsamte Bewegung nach der negativen Seite, die etwa 4 Minuten lang verfolgt wurde. Der erste positive Ausschlag entsprach somit der Polarisation der zuletzt angelegten negativen Ladung, der folgende negative Ausschlag der Polarisation der anfänglich angelegten positiven Ladung. Die wohl auf räumliche Ladungen im NaCl beruhende Erscheinung zur Zeit weiter zu verfolgen, hatte ich keine Gelegenheit, nur sei noch kurz ein weiterer Versuch erwähnt, bei dem bei fort dauernder Beleuchtung +100 Volt mit -100 Volt Ladung wechselten und beide Ladungen gleiche Zeit (6 Min.) angelegt blieben. In diesem Fall war an dem Entladungsstrom kein Zeichenwechsel innerhalb der Beobachtungszeit von einer halben Stunde wahrzunehmen. Seine Richtung (nach positiven Zahlen) entsprach dem Zeichen der letzten Ladung, seine Stärke war aber geringer als ohne vorhergegangene entgegengesetzte Ladung.

Daß dieses auf den letzten Seiten besprochene Nachwirken einer Ladung auf eine folgende, bzw. auf den sich daran anschließenden Entladungsvorgang wiederum eine Erscheinung ist, die bei Untersuchungen der vorliegenden Art nicht aus dem

Auge verloren werden darf, braucht wohl kaum erwähnt zu werden. Manches anfänglich rätselhaft erschienene Verhalten des NaCl hat sich so nach und nach bis zu einem gewissen Grad aufgeklärt, oder wenigstens als gesetzmäßig erkennen lassen.

---

Bei den Versuchen mit X-bestrahltem NaCl war deutlich hervorgetreten, daß der Dunkelstrom wesentlich stärker ist, wenn die Platte kurz vorher einer Beleuchtung ausgesetzt worden war. Ebenso zeigte sich die Platte sehr merklich empfindlicher für Rotbeleuchtung, wenn eine Beleuchtung mit Licht kürzerer Wellenlänge kurz vorhergegangen war.<sup>1)</sup> Da beide vielleicht auf gleicher Ursache beruhende Erscheinungen sich bei dem blauen NaCl anfänglich, wenn überhaupt, so doch nur in geringem Maße gezeigt hatten, war es mit Rücksicht auf die Vorstellung, die man sich von der Ursache der vermehrenden Wirkung des Lichts auf die L.-F. bilden möchte, von Interesse, durch einen besonderen Versuch festzustellen, ob sich eine solche Nachwirkung „von Hell auf Dunkel“ bei blauem Steinsalz überhaupt nachweisen läßt oder nicht.

Es wurde deshalb die mehrmals erwähnte Platte, nachdem sie durch Beleuchtung von Polarisation genügend befreit war und sich darauf während einer mehrtägigen Dunkelheit bei Ableitung zur Erde auch genügend erholt hatte, auf Dunkelstrom diesmal mit 1000 Volt Ladespannung geprüft. Dabei ergab sich, wie bei andern ähnlichen Gelegenheiten, ein Dunkelstrom von sehr geringer Stärke: in der Beobachtungszeit 1 bis 6 Sekunden nach Anlegen der Spannung ein paar Skalenteile, in den folgenden einige Zehntel. Dann wurde nach Entfernung der Spannung, nach Erdung, die Platte etwa 1 Minute lang der Beleuchtung der auf etwa 20 cm genäherten Nernstlampe mit Zwischenschaltung des Wassertröghens ausgesetzt. Als dann nach Verdunklung wieder 1000 Volt angelegt wurden, erhielt ich einen Dunkelstrom, der in den ersten Minuten ungefähr 10mal, in späteren Zeiten noch beträchtlich mehr stärker war als der vorher wahrgenommene. Auch die daraufhin bei Entladung gemessene Polarisation war kräftiger, als wenn keine

---

1) Über diese zuletzt erwähnten Versuche wird weiter unten berichtet.

Beleuchtung stattgefunden hätte. Demnach ist es sicher, daß eine Beleuchtung der beiderseits zur Erde abgeleiteten blauen Steinsalzplatte eine Nachwirkung ausübt in der Weise, daß ihre L.-F. im Dunkeln dadurch vermehrt wird. Die Nachwirkung von „Hell auf Dunkel“, die wir bei X-bestrahltem NaCl fanden, tritt somit, wenn auch verhältnismäßig viel schwächer, auch bei blauem Steinsalz auf. Gleich wenig wie diese Nachwirkung äußerte sich beim blauen Steinsalz die bei X-bestrahltem NaCl zu beobachtende, die L.-F. vermehrende Nachwirkung, die eine vorangegangene Beleuchtung auf das Ergebnis eines Versuches mit beleuchteter Platte ausübt. Es überwog bei blauem Steinsalz immer der Einfluß der von einer vorangegangenen Beleuchtung bewirkten Ermüdung, und die L.-F. erschien bei dem darauffolgenden Versuch verkleinert (vgl. z. B. S. 159), während das Gegenteil bei X-bestrahltem Steinsalz wahrgenommen werden konnte.

Diese erwähnten Verschiedenheiten sind m. E. neben der Verschiedenheit in der Wellenlänge des Lichts maximaler Wirkung, in der Beständigkeit der Aktivität und in der Farbe sichere Merkmale für das Bestehen von einem wesentlichen Unterschied zwischen der Konstitution oder dem Verhalten der wirksamen Teilchen von blauem und von X-bestrahltem NaCl.

---

Die beschriebenen Erscheinungen haben in mancher Beziehung viel Ähnlichkeit mit denen der von Hrn. Hallwachs an Metallen entdeckten Photoelektrizität. Die Herren Elster und Geitel fanden<sup>1)</sup>, daß eine Anzahl von Körpern, unter ihnen auch NaCl und KCl durch Kathodenbestrahlung bedeutend stärker photoelektrisch gemacht werden können, und schrieben diese so erworbene Eigenschaft dem Vorhandensein von kolloidal gelösten Metallen zu, die durch jene Bestrahlung aus ihrer Verbindung im Körper ausgeschieden werden. Daß auch die  $\gamma$ - und  $\delta$ -Strahlen des Ra eine solche Wirkung ausüben können, wiesen die Herren St. Meyer und Przibram nach.<sup>2)</sup> Vielleicht kommt bei dieser Zusammenstellung ähn-

1) Elster u. Geitel, *Wied. Ann.* 59. S. 487. 1896.

2) St. Meyer u. Przibram, *Wiener Berichte* 121. S. 1413. 1912.

licher Erscheinungen auch noch das seit langer Zeit bekannte Verhalten des Selens und Jodsilbers und ähnlicher Körper in Betracht. Es ist nun wohl kaum zu bezweifeln, daß bei all diesen und insbesondere bei den drei erstgenannten Versuchen im wesentlichen dieselben elektrischen Vorgänge eine Rolle spielen, wie bei den in der vorliegenden Mitteilung beschriebenen Versuchen mit X-bestrahlten Präparaten und mit natürlich blau gefärbtem NaCl: Bewegung von Elektronen. Bei jenen Versuchen wurde der Austritt von Elektronen aus der beleuchteten Oberfläche an dem dadurch bewirkten positiven Aufladen der Körper oder in einer Abnahme seiner negativen Ladung wahrgenommen; es schien mir von Interesse zu sein, zu untersuchen, ob auch bei unserer, von der sonst benutzten etwas abweichenden Versuchsanordnung eine positive Aufladung des beleuchteten blauen NaCl, d. h. ein Eintritt von Elektronen in die Elektroden stattfindet, und zweitens, ob auch ein „Strom“ bzw. ein „Polarisationsstrom“ zustande kommt, wenn von einer X-bestrahlten Platte nicht auch die Oberfläche, sondern nur eine von den Elektroden genügend entfernte, im Innern des Kristalles gelegene Schicht beleuchtet wird.

Es wurde die von Polarisation befreite und gut ausgeruhete, oben geerdete Platte plötzlich der Beleuchtung der auf 17 cm genäherten Nernstlampe ausgesetzt, nachdem ihre untere Belegung mit der von der Erde abgetrennten Elektrometerleitung in Verbindung gesetzt und vorher der selbständige Elektrometergang beobachtet worden war. Ich erhielt zwar geringe, aber doch genügend sichere positive Ausschläge: in der ersten Minute 3,2 Skalenteile, in der folgenden etwa einen Skalenteil. Da nun durch ein nur das Glyzerintrögchen freilassendes Diaphragma aus schwarzem Papier alle eventuell störenden Teile abgeblendet waren, und die vielleicht noch in Betracht kommende Graphitschicht der unteren Belegung infolge der Färbung der 0,3 cm dicken Platte nur wenig Licht erhielt, so halte ich den Nachweis, daß die Beleuchtung den Austritt von Elektronen auf der Seite der Glyzerinelektrode veranlaßte, für erbracht. Wahrscheinlich findet der gleiche Vorgang auch an der unteren Elektrode statt, aber infolge der Lichtschwächung in der farbigen Platte in geringerem Maße.

Zu dem zweiten oben erwähnten Versuch verwendete ich eine 3 zu 4 cm große, 1 cm dicke klare NaCl-Platte, die mit einer oberen und einer 1 cm<sup>2</sup> großen unteren Graphitelektrode sowie mit einem Schutzring versehen war. Auf der einen, polierten 1 zu 3 cm großen Schmalseite war ein undurchsichtiges Schirmchen angebracht, das die Seite bis auf einen 1 cm breiten und 0,2 cm hohen Spalt verdeckte; die gegenüber liegende, rauh gemachte Stirnfläche war geschwärzt. Nach einer eine Minute dauernden X-Bestrahlung wurde die Platte in eines der Kästchen so aufgestellt, daß ein durch jenen Spalt abgegrenztes, horizontales Lichtbündel, ohne das Innere des Kästchens merklich beleuchten zu können, durch die Mitte der Platte etwa 0,4 cm von jeder Elektrode entfernt geschickt werden konnte. Nach Anlegen der Spannung von etwa 1500 Volt im Dunkeln, was, von der Influenzelektrizität abgesehen, nur einen sehr schwachen Strom zur Folge hatte, wurde das parallel gemachte Licht einer in großer Entfernung aufgestellten, kleinen Bogenlampe plötzlich zugelassen; sofort zeigte sich am Lichtzeiger das Auftreten eines sehr kräftigen, mit der Zeit an Stärke abnehmenden, aber lang anhaltenden Stromes, in ganz ähnlicher Weise wie bei den Versuchen, bei denen die Elektroden, d. h. die Oberfläche der Platte mitbeleuchtet waren. Nach Erdung trat ebenfalls wie früher ein kräftiger Polarisationsstrom auf. Durch dieses Ergebnis ist nachgewiesen, daß im Innern der Platte im wesentlichen die gleichen Prozesse verlaufen wie in der nächsten Nähe ihrer Oberfläche; was meines Erachtens wohl zu erwarten war, aber doch einer Bestätigung bedurfte.

**Untersuchung der L.-F. von blauem Steinsalz mit spektral zerlegtem Licht.**

Bei einer ersten Reihe von zu diesem Zweck angestellten Versuchen besaß die mehrfach erwähnte hellblaue Platte auf ihrer unteren Seite, ähnlich wie die X-bestrahlte NaCl-Platte von S. 124, eine zweifache Graphitbelegung, oben war sie ganz mit Graphit eingerieben; die Beleuchtung mit spektral zerlegtem Sonnenlicht geschah demnach wieder von der Seite, so daß das Licht die zwei hintereinander gelegenen Teile der unteren Belegung überstrich. Bezüglich der weiteren An-

ordnung und des Verlaufes der Versuche kann ich auf das darüber bei Gelegenheit der Beschreibung der in ganz ähnlicher Weise mit X-bestrahltem NaCl angestellten Versuche Gesagte verweisen. Die ersten weit zurückliegenden Versuche sind zwar nicht mit erreichbarer Genauigkeit angestellt, doch genügen sie, um daraus Einiges zu entnehmen, das von Wert ist. Spätere Versuche sind exakter ausgeführt, und da über diese ausführlicher berichtet werden soll, wird es angezeigt sein, von den älteren Versuchen nicht die einzelnen Beobachtungen und alle daraus abgeleiteten ( $\lambda, S$ )-Kurven, sondern nur die hauptsächlichsten Resultate mitzuteilen.

Von diesen Ergebnissen, die im späteren Verlauf dieser Mitteilung noch eine besondere Verwendung finden werden (vgl. S. 175), möchte ich zunächst das anführen, was sich auf die Lage der maximalen Lichtwirkung im Wellenlängengebiet bezieht. Aus den 12 gewonnenen ( $\lambda, S$ )-Kurven wurde entnommen, daß die Wellenlänge des Lichtes größter Wirksamkeit in der Nähe von  $490 \mu\mu$  liegen muß. In Anbetracht der erwähnten geringeren Genauigkeit dieser Versuche war die Interesse bietende Frage gerechtfertigt, ob nicht genauere Versuche doch zu dem Resultat führen würden, daß sowohl das blaue Steinsalz wie das gelbe X-bestrahlte (bei dem  $\lambda_{\max.} = 475 \mu\mu$  gefunden war) von der gleichen Lichtart am stärksten beeinflußt werden, und es war deshalb geboten, durch neue Versuche das vor längerer Zeit erhaltene Resultat einer genauen Prüfung zu unterwerfen. Das ist dann auch geschehen und zwar in einer Weise, die etwas abweicht von der soeben beschriebenen, die aber zu einer sichereren Entscheidung geführt hat.

Die noch vorhandene blaue Steinsalzplatte wurde auf beiden Seiten abgeschliffen, dann auf der unteren Seite mit einer kreisförmigen Graphitbelegung (Durchmesser 1,18 cm) und Schutzring, auf der oberen mit einem aufgeklebten Glyzerintröpfchen versehen und darauf in bekannter Weise in das Kästchen gelegt. Zur Beleuchtung wurde wieder, wie es bei den Versuchen mit X-bestrahltem NaCl beschrieben ist, mit dem Gitter zerlegtes Sonnenlicht verwendet, das aber diesmal nicht von der Seite in die Platte eindrang, sondern von oben, durch ein auf das obere Kästchenfensterchen aufgesetztes total reflektierendes Prisma dorthin geleitet. Die mittlere Wellenlänge des die Graphitbelegung beleuchtenden und deren Durchmesser

entsprechend etwa  $4,5 \mu\mu$  breiten Spektralbezirkes wurde wieder aus der Lage einer Fraunhoferschen Linie auf dem vertikalen Maßstab bestimmt, nachdem vorher nochmals der gegenseitige Abstand der Linien auf dem Maßstab und außerdem die Stelle, wo ein von der Mitte des Gitters ausgehender, die Mitte der Steinsalzbelegung treffender Lichtstrahl die Ebene des Maßstabes durchdringt, gemessen war.

Die Bestimmung der Stromstärke des in 10 Sek. auftretenden Elektrometerausschlagewurde jetzt so vorgenommen, daß die Spannung einige Minuten vor Anfang der Versuchsreihe im Dunkeln angelegt wurde und dann dauernd bis zum Schluß angelegt blieb. Dadurch ging man zwar der Möglichkeit verlustig, zwischendurch den Polarisationsstrom messen zu können, indessen konnte man sich, wie unten angegeben wird, von seinem Einflusse auf die Lage des Maximums der Lichtwirkung in anderer Weise befreien; diese Art des Arbeitens hatte den Vorteil, die Versuche rascher hintereinander ausführen zu können, was in Anbetracht der unsicheren Konstanz der Sonnenstrahlung sehr erwünscht war. Der zu beobachtende, in 10 Sek. erfolgende Elektrometerausschlag nahm seinen Anfang im Augenblick, wo die jedesmal nur 11—12 Sek. dauernde Beleuchtung der Platte einsetzte. Dann wurde bei verdunkelter Platte die Beleuchtung rasch in der früher angegebenen Weise geändert und nun wiederum wie vorher die Stromstärke bestimmt. Bei den meisten Versuchsreihen wurde das Spektrum bei jedem Versuch in beiden Richtungen wenigstens je einmal oder auch mehrmals durchlaufen.

Für die Mitteilung kommen zunächst die Ergebnisse von 13 Versuchsreihen, die sich über das Wellenlängengebiet 709 bis  $372 \mu\mu$  erstrecken, in Betracht. Um nicht zu ausführlich zu werden, gebe ich nicht die direkt gemessenen Stromstärken an, sondern ihre reduzierten (vgl. S. 171) Werte (Tab. XXIII). Ebenfalls verzichte ich mit Rücksicht auf die Kostspieligkeit einer Drucklegung auf die Wiedergabe sämtlicher  $\lambda S$ -Kurven und veröffentliche als Beispiel für den Verlauf der direkt beobachteten Lichtempfindlichkeitskurve mit ihren Unregelmäßigkeiten, deren Ursachen schon zum Teil besprochen wurden, nur die Fig. 10, in der zwei unmittelbar aneinander sich anschließende Versuchsreihen, bei denen das Spektrum in abwechselnder Reihenfolge durchlaufen wurde, dargestellt sind.

Tabelle XXIII.

$\lambda$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	E	Mittel
700						2,0	1,5	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	14,5	1,8
681	2,0	3,0	1,5	2,0	2,0	4,0	2,5	5,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,5	39,0	3,0
653	7,0	7,0	4,5	4,5	5,0	9,5	6,0	11,5	5,0	6,0	5,5	7,0	9,0	87,5	6,7
625	12,0	14,5	10,0	9,5	11,0	14,5	11,0	21,0	10,5	13,0	11,0	13,5	16,5	168,0	13,0
597	19,5	23,0	15,5	16,5	18,0	20,0	18,5	28,0	18,5	20,5	18,0	21,0	20,5	257,5	19,8
569	25,0	26,0	25,0	23,5	24,0	25,0	25,0	29,0	26,5	26,0	24,5	24,5	27,5	331,5	25,5
541	29,0	29,5	25,5	26,5	28,0	29,0	28,5	29,0	30,0	30,0	28,0	29,0	27,5	369,5	28,4
513	29,0	29,0	29,0	24,5	30,0	29,5	30,0	25,0	28,0	27,0	27,0	29,0	28,5	365,5	28,5
485	25,0	23,5	25,5	27,5	27,0	24,0	25,5	19,5	21,5	24,0	26,5	20,5	29,5	319,5	24,6
457	16,5	17,5	21,5	20,5	22,0	16,5	20,0	13,5	15,0	18,5	17,5	18,0	17,5	234,5	18,2
429	9,0	10,0	10,5	12,0	15,0	11,5	13,5	10,5	12,0	12,5	12,5	13,5	11,0	153,5	11,8
401	7,0		12,5			7,0	8,0	3,0	4,5	4,0	4,5	5,0	4,0	61,5	6,2
372						0,9	0,7								0,8

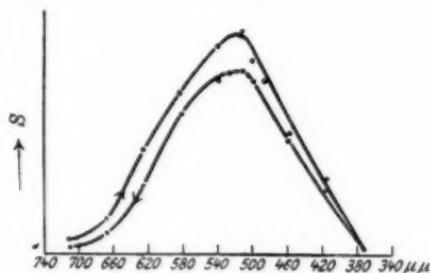


Fig. 10.

Man erkennt die immer vorkommende Erscheinung, wie die je einer Wellenlänge entsprechenden Stromstärken während des ganzen Versuches abgenommen haben. Die Ursache davon liegt zum großen Teil in der sich bildenden Polarisation und der wachsenden Ermüdung. Außerdem ersieht man auch schon aus dieser Figur einigermaßen, wie die Lage des Maximums der Lichtwirkung während der Versuchszeit weiter nach kleineren Wellenlängen rückte. Letztere Erscheinung trat fast immer ein, sie kann mit der erwähnten Zunahme von Polarisation und Ermüdung erklärt werden. Eine ausführliche Begründung folgt unten S. 178.

Es ist nach Betrachten der Zeichnung einleuchtend, daß ein einzelner Versuch nicht genügt haben würde, um mit einiger Sicherheit die Lage des Maximums und den Verlauf der Lichtempfindlichkeit in ihrer Abhängigkeit von der Wellenlänge zu

bestimmen. Um diesen Zweck zu erreichen, wurde deshalb folgendermaßen verfahren. Alle Beobachtungen wurden auf Koordinatenpapier eingetragen, so daß 13 Figuren entstanden, von denen jede die beim einmaligen Durchlaufen der Wellenlängenreihe erhaltenen Stromstärken enthielt. In jeder Zeichnung wurde dann aus freier Hand eine glatte Kurve gezogen, die den eingetragenen Punkten schätzungsweise am besten entsprach. Aus diesen Kurven entnahm ich die ungefähre Größe

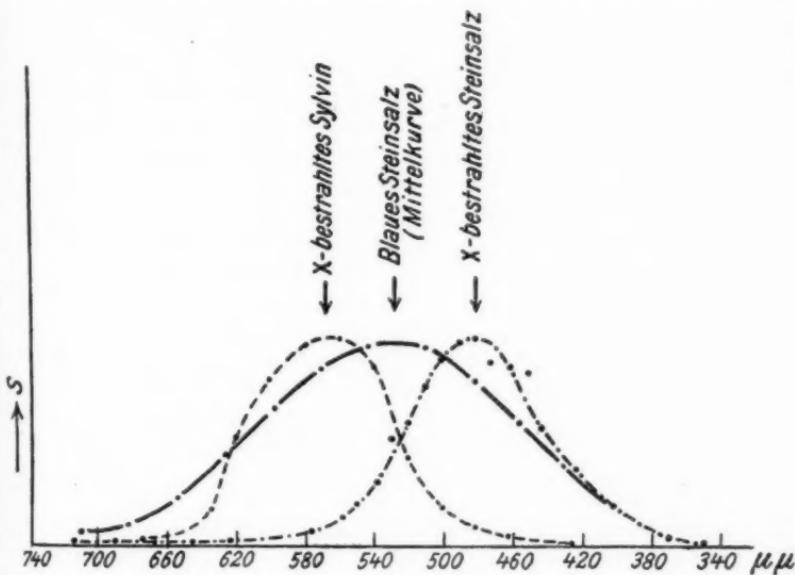


Fig. 11.

des jeweiligen Maximums; dann wurden alle Werte der Stromstärken auf ein gemeinsames Maß durch Multiplikation mit dem Verhältnis von 30 zu diesen aus den betreffenden Kurven entnommenen Maximalwerten reduziert und schließlich aus den so erhaltenen, zu je einer Wellenlänge gehörenden Werten das arithmetische Mittel genommen (vgl. Tab. XXIII) und diese reduzierten Mittelwerte mit ihren zugehörigen Wellenlängen auf Koordinatenpapier eingetragen. Sie wiesen, wie die im verkleinerten Maßstab gezeichnete Fig. 11 zeigt, keine ins Auge

fallenden Unregelmäßigkeiten mehr auf und konnten leicht durch eine glatte Kurve vereinigt werden. Wir wollen diese Kurve die „Mittelkurve“ nennen und dürfen von ihr wohl annehmen, daß sie den normalen Verlauf der Lichtempfindlichkeit in ihrem Verhältnis zur Wellenlänge ( $\lambda S$ -Kurve) befriedigend darstellt. Aus dieser Mittelkurve entnahm ich für die *Lage der maximalen Lichtwirkung auf der Wellenlängenachse für das von uns verwendete natürlich blau gefärbte NaCl* den Wert  $\lambda_{\max.} = 527 \mu\mu$  mit einem Schätzungsfehler von etwa  $\pm 3 \mu\mu$ .<sup>1)</sup> Die Lage des Maximums für X-bestrahltes gelbes Steinsalz fanden wir oben bei  $475 \mu\mu$ , also, wie schon bemerkt, wesentlich weiter nach kleineren Wellenlängen gelegen.

In Anbetracht der Bedeutung, die ich diesem Ergebnis beilegen möchte, schien es mir angezeigt zu sein, diese Lage bei X-bestrahltem NaCl nochmals zu bestimmen und zwar besonders auch noch deshalb, weil dieses Maximum hauptsächlich aus Versuchen abgeleitet wurde, bei denen die Beleuchtung nicht, wie zuletzt bei blauem NaCl von oben, sondern von der Seite geschah, und weil jene vor ein paar Jahren ausgeführten Versuche selbstverständlich unter auch sonst etwas anderen Versuchsbedingungen angestellt wurden. Es wurde deshalb eine ungefärbte Steinsalzplatte genau so vorbereitet wie die blaue und zu zwei Versuchsreihen in genau gleicher Weise wie die blaue NaCl-Platte benutzt, nachdem sie vor jeder Reihe, das erstmal nur wenig, das zweitemal kräftig X-bestrahlt worden war. Mit Rücksicht auf den vorliegenden Zweck beschränkte ich die Beobachtungen auf ein enges Spektralgebiet: es kam nur Licht von der Wellenlänge: 513, 499, 485, 471, 457  $\mu\mu$  jedesmal zur Verwendung. Infolgedessen konnte die Lage des Maximums mit noch größerer Schärfe als früher bestimmt werden. Sie ergab sich zu  $478 \mu\mu$  mit einem Schätzungsfehler von  $\pm 3 \mu\mu$ , also in bester Übereinstimmung mit der früher gefundenen. Demnach ist an der Tatsache der Verschiedenheit der Wellenlängen des Lichtes maximaler Wirkung bei beiden Steinsalzpräparaten nunmehr nicht mehr zu zweifeln.

---

1) Es gibt bekanntermaßen Steinsalz mit verschiedener Blaufärbung und deshalb kann unser Resultat nur für das von uns untersuchte gelten.

Es ist nun weiter von Interesse, auch die Gestalt der bei blauem Steinsalz erhaltenen  $\lambda S$ -Kurve mit der, die früher bei X-bestrahltem NaCl gefunden wurde, zu vergleichen. Zu diesem Zweck sind in der Fig. 11 beide — von dem X-bestrahlten NaCl die auf S. 118 erwähnte — auf 30 Skalenteile Maximalhöhe reduzierte Kurven eingetragen. Wenn die für das Verhalten des X-bestrahlten NaCl gewählte Kurve auch nicht mit der gleichen Sicherheit wie die andere bestimmt wurde, so genügt sie doch vollkommen, um den charakteristischen Unterschied in dem Verhalten beider Präparate zu erkennen. Es tritt aus der Figur sehr deutlich hervor, erstens was soeben schon erwähnt wurde, daß das Maximum der lichtelektrischen Wirkung bei blauem Steinsalz wesentlich weiter nach der Seite der größeren Wellenlänge liegt, als das des X-bestrahlten, zweitens was auch der oben angeführte Vorversuch bereits ergeben hatte, daß das natürlich blau gefärbte Steinsalz im Verhältnis zu seiner Blauempfindlichkeit rotempfindlicher ist als das X-bestrahlte und drittens, daß die Kurve für X-bestrahltes NaCl bei gleicher maximaler Lichtempfindlichkeit wesentlich schlanker ist als die für blaues NaCl.

Man könnte nun vielleicht vermuten, daß die Ursache dieser Ergebnisse zu suchen sei in dem Vorhandensein von Sylvin im blauen Steinsalz. Beachtet man nämlich die Lage der aus dem zwar vorläufig, aber doch für eine Schätzung genügend genauen Versuche mit X-bestrahltem KCl hervorgegangenen Kurve, die auch in unserer Fig. 11 nach Reduktion ihrer Maximalhöhe auf 30 Skalenteile eingetragen ist, so scheint zuerst in der Tat die Möglichkeit dafür zu bestehen, daß die für blaues NaCl gefundene Kurve durch Kombination der beiden für X-bestrahltes NaCl bzw. KCl gefundenen, erhalten werden könnte; daß fast in allem Steinsalz Sylvin vorkommt, ist bekannt. Sieht man sich aber die Kurve etwas genauer darauf an, so steigen doch Zweifel über diese Möglichkeit auf; jedoch ist dabei auch wieder zu berücksichtigen, daß die Form der KCl-Kurve, wie gesagt, so unsicher bestimmt ist, daß sie zu keiner direkten Ablehnung der Vermutung Veranlassung geben könnte. Gegen die Vermutung spricht aber das erwähnte sehr verschiedene Verhalten der beiden NaCl-Modifikationen in bezug auf die Erscheinung der Nachwirkung

einer Beleuchtung auf ihre L.-F. Die in der Fußnote von S. 156 ausgesprochene Vermutung, nach der in dem blauen NaCl vielleicht eine natürliche, mit der Zeit nicht merklich versiegende Strahlenquelle, die das NaCl lichtempfindlich macht, vorhanden ist, würde zwar einen Widerspruch, den man auf Grund der sehr verschiedenen Beständigkeit der X-bestrahlten NaCl- und KCl-Präparate und des blauen NaCl gegen die soeben diskutierte Annahme machen könnte, wohl beheben; allein diese Vermutung hat, wie a. a. O. erwähnt wurde, wenig Wahrscheinlichkeit für sich. Da nun Versuche mit chemisch geprüftem Material, die eine Entscheidung in der vorliegenden Frage hätten herbeiführen können, nicht vorliegen, ziehe ich es nach allen Überlegungen vor, bei der einfacheren und zu weniger Bedenken führenden, oben schon ausgesprochenen Ansicht zu bleiben, daß alle im Verhalten ber beiden Präparate gefundenen Verschiedenheiten auf eine Verschiedenheit in der Beschaffenheit oder dem Verhalten der in beiden Fällen wirk-samen Na-Teilchen zurückzuführen sind.

Es dürfte nützlich sein, im Anschluß an das soeben Besprochene noch einige Bemerkungen und Beobachtungen mitzuteilen. Ob gerade die Lichtart, die im Kristall eine direkt sichtbare Schwächung erleidet, die bei den elektrischen Vorgängen nach Maßgabe ihrer Schwächung wirksame ist, ist noch unentschieden; wäre dies der Fall, so würde eine Verschiebung des Maximums auf der Wellenlängenachse als Folge einer Färbung unter den gegebenen Verhältnissen ausgeschlossen sein. Anders läge die Sache, wenn dies nicht zutreffen würde, dann könnte eine solche Verschiebung wohl eintreten; um dies einzusehen, braucht man sich nur vorzustellen, daß die Beleuchtung der Platte mit dem Licht eines durch vorgesetzte farbige Medien hergestellten Absorptionsspektrums vorgenommen würde. Nehmen wir den letzteren als den allgemeineren Fall an, so entsteht die spezielle Frage, ob die gefundene Verschiedenheit in der Lage der Maxima bei den beiden Steinsalzpräparaten nicht vielleicht durch eine solche von der Färbung veranlaßte Verschiebung verursacht worden ist, und die eigentliche stärkste Lichtwirkung auf beide Modifikationen des NaCl doch der gleichen Wellen-länge zuzuschreiben wäre. Folgende Überlegung wird die Antwort bringen: wenn dem so wäre, so müßte eine kräftige

Absorption von Licht, dessen Wellenlänge bei blauem NaCl rechts oder bei X-bestrahltem links von dem vermuteten gemeinschaftlichen, zwischen den beiden beobachteten gelegenen Maxima der lichtelektrischen Wirkung läge, diese Verdopplung der eigentlichen Lichtempfindlichkeitskurve bewirkt haben. Nun zeigen aber die Versuche über Schwächung des Lichtes in diesen Präparaten, von denen noch unten die Rede sein wird, von solchen Verhältnissen keine Andeutung; sie ergeben vielmehr eher die Möglichkeit, daß infolge der vorhandenen Schwächung das Maximum für blaues NaCl dem für X-bestrahltes etwas näher gerückt sein könnte. Demnach kann die Schwächung des in die Platte eindringenden Lichtes nicht die Ursache der Tatsache sein, daß die wirksamste Wellenlänge bei blauem NaCl verschieden gefunden wurde von der bei X-bestrahltem NaCl.

Es könnte aber immerhin diese Lichtschwächung, wie gesagt, doch einen Einfluß auf die Lage des Maximums und auf die Form der Kurve für blaues NaCl ausgeübt haben, und es war von Interesse, durch Versuche und mit Hilfe des bereits vorliegenden Materials dieser Frage nachzugehen. Zu diesem Zweck wurde nochmals diese Lage bei beiden Steinsalzpräparaten festgestellt, aber diesmal, nachdem durch Einschalten einer etwa 0,4 cm dicken Planplatte aus hellblauem Steinsalz, die aus demselben Stück wie die oben beschriebene, auf L.-F. ausführlich untersucht geschnitten war, eine der Farbe dieser Platte entsprechende Schwächung des beleuchtenden Spektrallichtes erreicht war. Es ergab sich für die Lage des Maximums bei X-bestrahltem NaCl keine sicher wahrnehmbare ( $\pm 3 \mu\mu$ ) Veränderung. Die des blauen NaCl dagegen war um etwa  $15 \mu\mu$  nach kleineren Wellenlängen gerückt. Dieses Ergebnis kam nicht unerwartet, denn ich hatte bei vorhergegangenen optischen Versuchen über Lichtschwächung im blauen Steinsalz eine breite Schwächungsbande mit der dunkelsten Stelle bei etwa  $600 \mu\mu$  bemerkt, die ganz in dem Wellenlängengebiet der  $\lambda S$ -Kurve, das der linken Hälfte (der der größeren Wellenlängen) der Kurve angehört, liegt (vgl. S. 185). Bei X-bestrahltem NaCl war nur eine geringe Schwächung in dem der Wellenlänge der maximalen lichtelektrischen Wirkung auf beiden Seiten benachbarten Gebiet des Spektrums zu erkennen. Offenbar stehen diese Wahrnehmungen mit der oben

geschilderten Wirkung der eingeschobenen blauen Steinsalzplatte im Einklang.

Diese so gewonnene Erfahrung über den Einfluß der blauen Färbung des NaCl auf die  $\lambda S$ -Kurve fand auch in dem bereits vorliegenden Beobachtungsmaterial noch eine willkommene Bestätigung. Bei den ersten Versuchen mit der blauen NaCl-Platte im spektralen Licht, von denen oben kurz die Rede war (S. 168), hatte sich außer einer anderen Lage der maximalen Wirkung (ungefähr bei  $490 \mu\mu$  statt des bei den späteren Versuchen gefundenen Wertes:  $527 \mu\mu$ ) in der  $\lambda S$ -Kurve ein *Minimum* dieser Wirkung in der Nähe von etwa 600 bis  $620 \mu\mu$  ergeben (vgl. Fig. 12), das bei den zuletzt angestellten Versuchen nicht auftrat (vgl. Fig. 10, S. 170) und deshalb auch

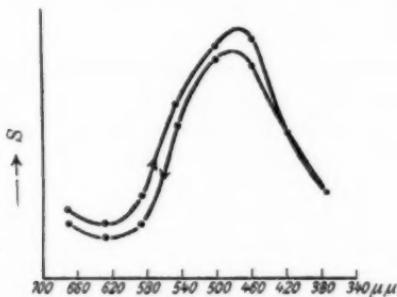


Fig. 12.

in der besprochenen Mittelkurve, wie auf S. 171 ersichtlich, fehlt. Diese ersten Versuche wurden zwar mit weniger Sorgfalt angestellt, als die in der letzten Zeit gemachten, allein das erwähnte Minimum tritt doch in verschiedenen Fällen so deutlich erkennbar auf, daß an seiner realen Existenz nicht gezweifelt werden kann. Ich erinnere nun daran, daß die Art der Beleuchtung bei jenen Versuchen eine andere war, als bei den späteren: um eine Anschauung zu gewinnen, nicht allein von dem Verlauf der  $\lambda S$ -Kurve, sondern auch von dem Verlauf der Schwächungskurve, hatte die Platte, wie auf S. 167 angegeben wurde, damals auf ihrer unteren Seite zwei nebeneinander gelegene Belegungen erhalten und mußte nicht von oben, d. h. in der Richtung der elektrischen Kraftlinien, sondern von der Seite in der Richtung von einer Belegung zur

anderen mit spektral zerlegtem Licht beleuchtet werden. Das Licht mußte somit, bevor es an die Stellen kam, wo es seine elektrische Wirkung in wahrnehmbarer Weise ausüben konnte — d. h. über den Belegungen —, vorher eine dickere Kristallschicht durchdringen; was bei den Versuchen mit Beleuchtung von oben jedenfalls viel weniger der Fall war. Infolgedessen war für eine vorherige Schwächung von wirksamem Licht im erstgenannten Fall eine viel größere Gelegenheit vorhanden als im letztgenannten, und das ist der Grund, weshalb in der  $\lambda S$ -Kurve der ersten Versuche in der Nähe des Maximums der Schwächung des spektral zerlegten Lichtes (vgl. S. 184) das erwähnte Minimum auftritt, während davon in der Mittelkurve noch nichts zu bemerken ist. (Vgl. auch S. 192.)

Außer dieser Bestätigung liefern aber jene ersten Versuche noch eine zweite, wenn man die  $\lambda S$ -Kurven, die diejenigen Beobachtungen ergaben, die bei Verwendung der auf dem Lichtweg zuerst gelegenen Belebung erhalten wurden, vergleicht mit denen, die die Versuche mit der *hinteren* Belebung lieferten. Nicht nur findet man aus den hier nicht mitgeteilten Kurven, in Übereinstimmung mit dem vorhin Gesagten, die Maxima bei den zuletzt genannten Kurven besser ausgeprägt als bei den erstgenannten, sondern man erkennt auch, daß das Maximum jener Kurven weiter nach kleinerer Wellenlänge liegt als das der anderen. Diese mir zuerst etwas auffälligen Ergebnisse entsprechen offenbar alle dem vorhin bei einem Versuch mit vorgesetzter Platte Gefundenen und dem der erwähnten optischen Versuche; sie haben demnach ihre vollständige Erklärung gefunden.

Die festgestellte Tatsache, daß das im blauen NaCl geschwächte Licht, das wohl sicher die blaue Färbung bedingt, die Form und die Lage der  $\lambda S$ -Kurve so sehr beeinflussen kann, mahnt selbstverständlich zur Vorsicht bei der Angabe der Wellenlänge des wirksamsten Lichtes, die man aus Versuchen mit etwas stärker gefärbtem Material ableiten will. Auch im günstigsten Fall, wo die Beleuchtung von oben, d. h. senkrecht zu den Kristallbelegungen stattfindet, wo somit das zur Wirkung kommende Licht doch wenigstens in die erste lichtempfindliche Plattenschicht ohne vorher geschwächt zu sein, eindringt, wird doch in der Platte ein ähnliches Verhältnis bestehen, wie wir es soeben bei der mit zwei hintereinander gelegenen Belegungen

versehenen Platte feststellten, d. h. es wird gewissermaßen jede Schicht der Platte zu der  $\lambda S$ -Kurve in bezug auf die Lage des Maximums einen etwas verschiedenen Beitrag liefern, der natürlich nicht für sich getrennt aus der gefundenen  $\lambda S$ -Kurve entnommen werden kann. Wie groß die daraus etwa entstehende Unsicherheit in bezug auf die Form der  $\lambda S$ -Kurve und auf die Lage ihres Maximums bei den beschriebenen Versuchen mit blauem NaCl war, kann nicht genau angegeben werden, doch meine ich in Anbetracht des Umstandes, daß die benutzte 3 mm dicke Platte aus recht wenig gefärbtem NaCl bestand und mit Rücksicht auf die Versuchsergebnisse von S. 175, ohne Bedenken angeben zu können, daß die Verschiebung nach kleineren Wellenlängen im gegebenen Falle nur wenige (d. h. nicht etwa  $10 \mu\mu$ ) betragen haben kann. Auf die Anstellung von weiteren Versuchen, die vielleicht eine größere Sicherheit in dieser Beziehung hätten bringen können, habe ich geglaubt verzichten zu können; das zunächst Wichtigste im Verhalten des blauen Steinsalzes meine ich erfahren und mitgeteilt zu haben.

In dem folgenden kurzen Abschnitt mögen noch einige Wahrnehmungen an den Kurven der 18 oben erwähnten, sich auf das Verhalten des blauen NaCl beziehenden Versuchsreihen untergebracht werden, die, wenn auch nicht von besonderem Interesse, doch eventuell bei weiteren Versuchen Verwendung finden können, und die außerdem eine Erklärung verlangten. Es wurden die in der Tab. XXIII enthaltenen Werte der auf 30 Skalenteile Maximalkurvenhöhe reduzierten Stromstärken der 18 Versuchsreihen mit den zugehörigen Wellenlängen auf Koordinatenpapier eingetragen und durch die so erhaltenen Punktreihen aus freier Hand Kurven gezogen. Darauf wurde die Lage der Maxima dieser Kurven auf der Wellenlängenachse mit der des Maximums der Mittelkurve verglichen und das Ergebnis in die Tab. XXIV (Kol. 2) eingetragen und zwar der Einfachheit halber in dem verwendeten Maß (Millimeter, 1 mm = ca.  $4 \mu\mu$ ). „Links“ in der Tabelle bedeutet nach größeren Wellenlängen, „rechts“ folglich nach kleineren Wellenlängen. Man erkennt, daß nicht unbeträchtliche Unterschiede zwischen den Lagen des Maximums der direkt beobachteten Kurven und dem der „Mittelkurve“ vorhanden sind, und es fragt sich, wie diese Differenzen erklärt werden können. Daß

Tabelle XXIV.

Versuch	Lage des Maximums der Kurven im Vergleich zu dem der Mittelkurve	Richtung des A-Weges	Bemerkungen	Form der Kurve	Verhältnis
1	gleich	→→	bei einem Vorversuch war Spannung angelegt und Platte beleuchtet wahrscheinlich ditto unsicher	annähernd normal	1,4
2	1 mm nach links	→→		" "	1,2
3	2,3 " " rechts	←→		" "	2,1
4	3,2 " " rechts	←→	sofort nach einem Versuch mit blauer vorgestellter Platte	" "	2,3
5	2 " " rechts	←→	nach langer Ruhe. Wahrscheinlich Spannung kurz vorher ohne Beleuchtung angelegt	" "	2,0
6	1 " " links	→→	gleich nach 5	" "	1,1
7	1 " " rechts	←→	" " 6	" "	1,8
8	5,5 " " links	→→	nach langer Ruhe. Spannung kurz vorher ohne Beleuchtung angelegt	" "	0,7
9	gleich, aber Kurve schlanker	←→	gleich nach 8	Kurve schlanker	1,6
10	gleich	→→	" " 9	normal	1,7
11	1 mm nach rechts	←→	" " 10	" "	1,8
12	gleich	→→	" " 11	" "	1,4
13	1 mm nach links	→→	nach 4 tägiger Ladung aber ohne Beleuchtung	Abstieg normal Anstieg flacher	1,1

sie alle auf die mehrmals erwähnten Versuchsstörungen zurückzuführen seien, wird man vielleicht zunächst vermuten, doch stellt sich diese Erklärung bei näherem Zusehen nicht als genügend heraus; man findet vielmehr, daß hier noch folgender Einfluß tätig war. In der Kolumne 3 der Tabelle sind durch Pfeile die Richtungen angegeben, in welchen bei den Versuchen die einzelnen Spektralbezirke zur Verwendung kamen. Der Pfeil → deutet an, daß die Reihenfolge der Wellenlängen von größeren nach kleineren ging; der Pfeil ← die umgekehrte Reihenfolge. Man erkennt nun aus Kolumnen 2 und 3 ohne Ausnahme sofort, daß bei den Versuchen, die eine Lage des Maximums weiter nach kleineren Wellenlängen als die Lage des Maximums der Mittelkurve ergaben, das Spektrum in der Richtung von kleineren nach größeren Wellenlängen durchlaufen wurde, und daß umgekehrt zu den größeren Werten der Wellenlängen des Maximums die Richtung → gehört. Diese Gesetzmäßigkeit und damit auch die erwähnten Differenzen finden nun ihre Erklärung darin, daß sich während eines Versuches Polarisation und Ermüdung bekanntermaßen allmählich und zwar erstere sicher in abnehmendem Tempo ausbildeten (vgl. Fig. 10 und Fig. 12) und daß die eingetragenen Beobachtungen von diesen Einflüssen vorher nicht befreit wurden; beide Faktoren müssen die beobachteten Verschiebungen zur Folge gehabt haben, wie man nach einer einfachen Überlegung einsehen wird. Der Einfluß mußte offenbar am stärksten sein, wenn die Bildung der Polarisation am raschesten vor sich ging, d. h. zu Anfang einer Versuchsreihe, bei der die Ladung nur kurze Zeit vor der ersten Beleuchtung angelegt wurde; von dieser Folgerung findet man auch in der Tabelle unter Zu-hilfenahme der „Bemerkungen“ manche Bestätigung.

Es ist einleuchtend, daß auch die Form der Kurven merklich von Polarisation und Ermüdung beeinflußt wird, wenn diese Faktoren bedeutend sind. An einigen Originalkurven ist dieser Einfluß dann auch deutlich sichtbar; da die einzelnen Kurven in dieser Mitteilung nicht wiedergegeben sind, mag diese Tatsache in folgender Weise demonstriert werden. Bestimmt man aus den Beobachtungen das Verhältnis der für die beiden nahezu gleich weit von der Wellenlänge der maximalen Wirkung entfernt gelegenen Wellenlängen  $457 \mu\mu$  und  $625 \mu\mu$  gefundenen Stromstärken, so erhält

man die Zahlen der Kolumne 6 von Tab. XXIV; an der „Mittelkurve“ gemessen ergibt sich dieses Verhältnis zu 1,4. Die Zahlen für die Einzelkurven schwanken zwischen 0,7 und 2,1, und zwar in einer Weise, die ganz regelmäßig ist, indem ohne Ausnahme zu jeder Zahl, die größer ist als 1,4, die Richtung  $\leftarrow$  und zu den kleineren die Richtung  $\rightarrow$  gehört. Dieses Ergebnis entspricht offenbar wieder genau dem, was man von dem Einfluß der Polarisation und der Ermüdung auf die Form der Kurven zu erwarten hat; daß es so regelmäßig eingetroffen ist, ist in Anbetracht der besprochenen Unregelmäßigkeiten, die die einzelnen Messungen aufweisen und der in den nicht ohne Willkür aus freier Hand und ohne Kenntnis von dem vorhin abgeleiteten Ergebnis gezogenen Kurven vorhandenen Unsicherheit doch überraschend und erfreulich. Bei dem auf S. 175 erwähnten Versuch mit blauem Steinsalz und vorgesetzter Platte aus gleichem Material stellte sich das in Rede stehende Verhältnis zu 4 heraus; der größere Wert ist in Übereinstimmung mit der Tatsache, daß die Wellenlänge des durch die vorgesetzte Platte am meisten geschwächten Lichtes nicht sehr weit von der des Maximums der Lichtempfindlichkeit in der Richtung nach größeren Wellenlängen entfernt ist.

Bei X-bestrahltem NaCl hatte sich ergeben, daß der Kristall für Licht irgendeiner Wellenlänge empfindlicher geworden ist, wenn er vorher mit Licht einer kleineren Wellenlänge beleuchtet wurde; bei blauem NaCl ist dies nicht, oder jedenfalls sehr viel weniger der Fall<sup>1)</sup>, wie u. a. aus besonders zur Prüfung dieser Frage angestellten Versuchen hervorging, bei denen die Platte nur mit Licht von der Wellenlänge  $625 \mu\mu$  bzw.  $457 \mu\mu$  abwechselnd einige Male hintereinander beleuchtet und bei jeder Beleuchtung auf ihre L.-F. geprüft wurde. Diese Versuche ließen nichts von einer Nachwirkung erkennen. Diese Verschiedenheit im Verhalten der beiden Steinsalzkristalle erklärt den auffallenden Unterschied im Verlauf der betreffenden  $\lambda S$ -Kurven (vgl. Fig. 5 u. 6, S. 126, und Fig. 10, S. 170); die bei X-bestrahltem Steinsalz auf dem Rückweg gefundene, von dem Einfluß der Polarisation

---

1) Vermutlich hängt dieser Umstand mit dem großen Unterschied in der Lichtbeständigkeit der beiden Kristalle zusammen.

befreite Kurve liegt zwar wie die bei blauem NaCl erhaltene in ihrem Anfang infolge des Vorwiegens der Ermüdung unter der auf dem Hinweg gefundenen, der letzte Teil aber, weil hier die Nachwirkung der Beleuchtung mit kleineren Wellenlängen überwiegt, über der anderen Kurve, was bei blauem Steinsalz nicht der Fall ist.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß es sich im allgemeinen bei der Untersuchung der Wirkung des spektral zerlegten Lichtes auf die L.-F. des blauen NaCl empfiehlt, die Ladung einige Zeit vor Anfang der Stromstärkenbestimmungen an die Platte anzulegen und sie während dieser Zeit zu beleuchten, damit der Hauptteil der Polarisation und der Ermüdung schon vor Anfang jener Bestimmungen sich ausbildet. Zu lange darf aber diese Vorbereitung wieder nicht dauern, sonst würde die zu beobachtende Stromstärke infolge der entwickelten Polarisation und Ermüdung zu gering ausfallen. Außerdem wird man, um sich von diesen Einflüssen noch mehr zu befreien, die Richtung, in der die Reihenfolge der beleuchtenden Spektralfarben beim Versuch durchlaufen wird, wechseln.

#### **Beziehungen zwischen Einfluß des Lichtes auf die L.-F. und Lichtabsorption.**

Nach dem im Vorhergehenden mitgeteilten Befund übt von dem durch ein Gitter zerlegten Sonnenlicht das blaue von der Wellenlänge  $\lambda = 475 \mu\mu$  auf die L.-F. des durch X-Strahlung empfindlich gemachten Steinsalzes den größten Einfluß aus. Bei Sylvin liegt dieses Maximum der Wirkung im gelben, in der Nähe von  $\lambda = 550 \mu\mu$  gelegenen Teile des Spektrums. Nun ist bekannt, daß eine genügend lange dauernde X-Bestrahlung die genannten Körper färbt, Steinsalz wird braungelb, Sylvin violett. Demnach hat es den Anschein, als ob zwischen dem Vorgang der Lichtabsorption und der beobachteten, die L.-F. erhöhenden Wirkung des Lichtes eine nahe Beziehung bestehe. Um diese Frage etwas eingehender zu prüfen, habe ich eine Anzahl von Versuchen angestellt, über die ich im folgenden noch berichten möchte.

Bei einer Kategorie dieser Versuche handelte es sich darum, das Absorptionsspektrum des X-bestrahlten NaCl und KCl

und des natürlich blau gefärbten NaCl zu beobachten.<sup>1)</sup> Dazu diente ein Vierordtsches Spektralphotometer und später noch ein mit Skala versehenes Taschenspektroskop; zur Verwendung kamen Platten aus den angegebenen Substanzen, die, um mit den genannten Spektroskopen überhaupt eine deutliche Absorption erkennen zu können, meist nicht in der Richtung ihrer Dicke, sondern senkrecht dazu, d. h. in der Richtung ihrer größten Dimension, untersucht wurden, und zwar bei den X-bestrahlten Präparaten wegen ihrer geringen Färbung möglichst nahe an der Oberfläche, die von den X-Strahlen zuerst getroffen wurde, wo also die Färbung immer am stärksten ist. Bei den sehr dunkel gefärbten Exemplaren von blauem Steinsalz kamen nur sehr dünne, in der Dickenrichtung durchleuchtete Plättchen zur Verwendung.

In dem Absorptionsspektrum einer etwa 3 cm breiten kräftig X-bestrahlten und deshalb sehr deutlich gelb gefärbten NaCl-Platte zeigte sich kein so scharf ausgeprägtes Maximum der Absorption, wie ich es nach dem Verlauf der L.-F.-Kurven wohl erwartet hatte. Ich konnte nur feststellen, daß im Vierordtschen Photometer eine ununterbrochene Absorption sich in dem ganzen Gebiet bemerkbar machte, das zwischen den Wellenlängen  $486 \mu\mu$  und  $434 \mu\mu$  liegt, eine Absorption, die unzweifelhaft die gelbe Farbe des Präparats bedingt. An einem etwa 8 cm breiten, mehrere Stunden lang X-bestrahlten Steinsalzblock war eine Absorption schon bei etwa  $500 \mu\mu$  und noch bis im äußersten Violett zu erkennen, so daß bei der gewählten Spaltbreite vom ganzen Spektrum nur noch grün, gelb und rot sichtbar waren. Die Lage des Maximums der Absorption konnte aber auch in diesem Falle nicht mit genügender Sicherheit bestimmt werden.

Noch ungünstiger lagen die Verhältnisse beim X-bestrahlten Sylvin. Ich habe keine genügend intensiv gefärbte

---

1) Die X-bestrahlten Kristalle zeigen im Gegensatz zu dem blau gefärbten NaCl, wie schon einmal erwähnt, dilute, nicht schichtenweise angeordnete Färbung, im Ultramikroskop keinen Tyndallkegel und keine submikroskopischen Teilchen. Die Frage, welchen Anteil an der Färbung wirkliche Absorption oder Beugung hat, mag hier noch unerörtert bleiben. — Auch möchte ich nochmals erwähnen, daß zu einer kräftigen Aktivierung des NaCl schon eine X-Bestrahlung genügt, die den Kristall nicht sichtbar färbt.

Stücke erhalten können, und außerdem nahm die erzeugte Färbung im Lichte zu rasch ab, um mit meinen Mitteln ein für unsere Zwecke brauchbares Absorptionsspektrum zu erhalten.<sup>1)</sup>

Versuche mit natürlich blau gefärbtem NaCl lieferten folgendes: die auf S. 184 erwähnte, zur Bestimmung der Lage des Maximums der lichtelektrischen Wirkung auf der Wellenlängenachse benutzte, hellere Platte lieferte mit dem Vierordtschen Apparat ein Spektrum, in dem wieder ein breites Absorptionsgebiet, aber natürlich an anderer Stelle als beim X-bestrahlten NaCl, nämlich zwischen den Wellenlängen  $\pm 630 \mu\mu$  und  $\pm 590 \mu\mu$  wahrgenommen werden konnte. Ein anderes, ebenso helles, aus dem gleichen Kristall ausgesprengtes Stück mit dem Taschenspektroskop untersucht, zeigte eine Absorptionsbande, die noch bis  $\pm 650 \mu\mu$  bzw.  $\pm 550 \mu\mu$  erkennbar war. Bei beiden Präparaten war in der Gegend von  $\lambda = 527 \mu\mu$  (der Wellenlänge der maximalen lichtelektrischen Wirkung) nichts von Absorption zu bemerken, was mir anfänglich auffallend erschien. Zu einem weiteren Versuch wurde ein dünnes Plättchen eines äußerst dunkel gefärbten, dem auf S. 193 erwähnten, zuerst geprüften, ähnlichen Kristalls verwendet. Das Spektrum des senkrecht zur Dickendimension durch die Platte hindurchgegangenen Lichtes wies nun außer der vorhin erwähnten breiten Absorptionsbande noch eine viel schmälere auf, von der die Lage der Mitte einigermaßen genau bestimmt werden konnte. Es ergab sich dafür  $\lambda = \pm 517 \mu\mu$ . Diese schmale Bande in gleicher Lage, jedoch viel schwächer, konnte auch an einem, dem sehr dunkeln ziemlich benachbart gelegenen Stückchen des gleichen Kristalls beobachtet werden, das schätzungsweise gleich wenig intensiv gefärbt war, wie die zuerst untersuchten Stücke aus hellblauem NaCl.<sup>2)</sup> Aus diesen Wahrnehmungen

1) Eine intensive Färbung, sowohl von NaCl als von KCl lässt sich bekanntermaßen durch Behandlung bei hoher Temperatur im Na- bzw. K-Dampf nach Giesel und Siedentopf oder durch Kathodenbestrahlung nach Goldstein erreichen. Indessen hieß ich mich nicht für berechtigt, diese Färbung ohne weiteres für identisch mit der durch X-Strahlen hervorgebrachten zu halten.

2) Ein farbenkundiges Auge schätzte dem hinzugekommenen Absorptionsstreifen entsprechend die Farbe der zuletzt genannten Stücke „hellblau mit einem rötlichen Stich“, während die zuerst untersuchten Stücke „hellblau“ erschienen.

ist zu schließen, daß der NaCl-Kristall, aus dem die hellblauen, auf ihre L.-F. geprüften Stücke abgespalten waren, entweder gar kein färbendes Material enthält, das die Ursache ist von der Absorption in der Nähe der Wellenlänge  $517 \mu\mu$ , die sich in dem Spektrum der anderen, teilweise sehr intensiv gefärbten Kristalle zeigte, oder nur so wenig, daß es sich mit den angewendeten, nicht besonders empfindlichen optischen Mitteln nicht nachweisen ließ; ich möchte mich, durch die Erfahrungen mit X-bestrahltem NaCl belehrt, für die letzte Auffassung entscheiden. Die breite Dunkelbande, die in den Spektren allen blauen Kristalle auftrat, entspricht wohl sicher ihrer blauen Farbe.

Vergleichen wir nun die bei der optischen Untersuchung gefundenen Tatsachen mit den Ergebnissen der L.-F.-Bestimmungen, so ergibt sich folgendes:

X-bestrahltes NaCl. Das Wellenlängengebiet der optisch beobachteten Schwächung — dessen Mitte freilich nicht die Stelle größter Absorption zu sein braucht — fällt mit dem, Wellenlängengebiet größter L.-F. so weit zusammen, daß man geneigt sein wird, die eingangs auf Grund der gelben Färbung des kräftig X-bestrahlten NaCl gebildete Vermutung: das am meisten geschwächte Licht sei auch das am stärksten elektrisch wirksame, als richtig anzusehen. Indessen war die Unzulänglichkeit der optischen Hilfsmittel doch zu groß, um in dieser Beziehung völlige Sicherheit erhalten zu können.

X-bestrahltes KCl. Wenn auch von diesem Material, wie erwähnt, das Absorptionsspektrum nicht bestimmt werden konnte, so dürfen wir doch wohl, auf die soeben bei NaCl gemachte Erfahrung gestützt, annehmen, daß seine „heliotrope“ Färbung und die gefundene Wellenlänge maximaler lichtelektrischer Wirkung im gelbgrünen Teil des Spektrums ( $\lambda = 560 \mu\mu$ ) in gleicher Weise ursächlich zusammenhängen, wie es beim NaCl als sehr wahrscheinlich erkannt wurde.

Natürlich blau gefärbtes NaCl. Hier liegen die Verhältnisse verwickelter. Die Stelle größter lichtelektrischer Wirkung ( $\lambda = \pm 527 \mu\mu$ ) liegt außerhalb des einen beobachteten, breiten Absorptionsgebiets ( $\lambda = 650—550 \mu\mu$ ). Die linken Äste der Mittelkurve Fig. 11, S. 171, und der  $\lambda S$ -Kurve Fig. 10, S. 170, verlaufen so gleichmäßig ansteigend, daß man in diesem

Bereich der Wellenlängen eine so kräftige Absorption, wie sie tatsächlich in dem genannten Bereich vorhanden ist, nicht erwarten würde. Dagegen erkennt man an der bei 600 bis  $620 \mu\mu$  gelegenen Einsenkung der oben (S. 176) besprochenen Kurve Fig. 12, die die Ergebnisse von Versuchen mit seitlicher Beleuchtung darstellt, bei denen also das Licht eine größere Strecke in der Platte verlaufen mußte, bevor seine elektrische Wirkung gemessen wurde, sehr deutlich den Einfluß dieser Absorption. Ich schließe aus diesen Wahrnehmungen, daß die Lichtart, die die blaue Farbe des natürlich gefärbten NaCl hauptsächlich bedingt, trotz ihrer intensiven Schwächung im Kristall doch nur verhältnismäßig wenig zu der Vermehrung der L.-F. beiträgt. Anders verhält sich das Licht, das in der *schmalen* Absorptionsbande fehlt. Von seiner Wellenlänge kann man mit Rücksicht auf die Unsicherheit in der Bestimmung der Lage der Mitte ( $\pm 517 \mu\mu$ ) dieser Bande mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit aussagen, daß sie zusammenfällt mit der Wellenlänge des Lichtes maximaler lichtelektrischer Wirkung ( $527 \mu\mu$ ). In der Tatsache, daß diese Absorptionsbande nicht beim hellblauen, sondern nur beim dunkel gefärbten NaCl gefunden wurde, erkenne ich keinen Widerspruch mit dem Gesagten; denn die Absorption kann so gering sein, daß sie der optischen Beobachtung entgeht; wie z. B. beim schwach X-bestrahlten NaCl.

Die Versuche sowohl mit X-bestrahlten Präparaten als mit natürlich gefärbtem NaCl führen somit zu der *Regel, daß nur absorbiertes Licht eine lichtelektrische Wirkung ausüben kann*.

Leider fehlt die Gelegenheit, die Energieverteilung in den Absorptionsspektren bolometrisch zu messen: derartige Messungen hätten wohl eine wesentlich schärfere Antwort auf die gestellte Frage ermöglichen können.

Bei einer zweiten Kategorie von Absorptionsversuchen wurde die Schwächung gemessen, die die lichtelektrische Wirkung selbst auf dem Wege des Lichtes durch den Körper erleidet. Die Versuchsanordnung, die gestattet, an zwei auf dem Lichtwege hintereinander gelegenen Stellen der Kristalle diese Wirkung zu bestimmen, ist bereits auf S. 124 u. ff. beschrieben, und auch die betreffenden Versuche sind dort mitgeteilt. Die für den jetzigen Zweck zu verwendenden Ergebnisse sind in den Tabellen XVI u. XVII enthalten, und

zwar sind es die dort mit  $100(S_i' - S_{ii}')/S_i'$  bezeichneten Werte, die nach ihrer Multiplikation mit  $E$  als Maß für die gesuchte Schwächung im X-bestrahlten NaCl zu gelten haben.<sup>1)</sup>

Es fragt sich nun, wie diese Werte für den vorliegenden Zweck zu verwenden sind. Der Unterschied der in dem vom Licht zuerst durchlaufenen Teil (I) der Platte ausgeübten elektrischen Wirkung ( $S_i$ ) und der im zweiten Teil ausgeübten ( $S_{ii}$ ) beruht nur auf einer Verschiedenheit der Intensität des Lichtes in beiden Teilen; diese Differenz kann im allgemeinen verschiedene Ursachen haben:

I. Sie kann ihren Grund darin haben, daß das auf die schmale Seitenfläche der Platte auffallende Bündel paralleler Lichtstrahlen, sei es an dieser eventuell nicht ganz eben geschliffenen und ungenügend polierten Eintrittsfläche, oder im Innern der vielleicht nicht vollständig homogenen Platte durch Brechung oder Zerstreuung von seinem Wege abgelenkt oder aufgelöst wird, oder daß das Bündel nicht genau parallel den anderen Begrenzungsfächen verläuft, so daß eine störende Schattenbildung eintreten kann. Von solchen Vorgängen werden aber, insbesondere in dem klaren, X-bestrahlten NaCl, keine Strahlen des Spektrums besonders betroffen, so daß eine Abhängigkeit des Verhältnisses  $(S_i - S_{ii})/S_i$  von der Wellenlänge, wie sie tatsächlich wahrgenommen wurde, nicht durch diese Vorgänge veranlaßt sein kann. Sie können nur und werden wahrscheinlich auch in geringem Maße zu der  $\lambda, (S_i - S_{ii})/S_i$ -Kurve einen für alle Wellenlängen gleichbleibenden Anteil geliefert haben.

II. Der Intensitätsunterschied in den Teilen I und II kann durch Absorption oder durch eine die Farbe von weißem Licht ändernde Beugung des Lichtes in der Platte verursacht werden. Die letztere dieser beiden Ursachen brauchen wir wenigstens beim X-bestrahlten NaCl nicht weiter zu berücksichtigen, weil auch im kräftigst bestrahlten, klaren NaCl

1) Es sei nochmals daran erinnert, daß die Steinsalzplatte senkrecht zu ihrer größten Ausdehnung mit X-Strahlen bestrahlt wurde und deshalb in dieser Richtung verschieden stark lichtempfindlich war, so daß von der Bestimmung eines eigentlichen Absorptionskoeffizienten nicht von Rede sein kann.

keine Andeutung eines Tyndallkegels zu bemerken war. Bezuglich der Absorption müssen wir zwei Fälle unterscheiden:

a) Das Licht übt eine elektrische Wirkung aus, ohne dazu absorbiert zu werden; bei jeder Änderung der Intensität des Lichtes ändert sich innerhalb gewisser Grenzen seine Wirkungsfähigkeit in gleichem Verhältnis; Intensitätsänderungen werden durch eine in irgendeiner, nur nicht mit der elektrischen Wirkung direkt zusammenhängenden Weise bewirkte Absorption erzeugt.

b) Die elektrische Wirkung kann nur von absorbiertem Licht ausgeübt werden. Der absorbierende Körper kann dann so beschaffen sein: 1. daß in ihm Lichtenergie noch in andere Formen als in elektrische Energie der beobachteten Art verwandelt wird; eine einfache Beziehung zwischen elektrischer Wirkung und überhaupt absorbieter Lichtenergie ist dann nicht zu erwarten. Oder 2. so, daß die Energie des absorbierten Lichtes, gleichgültig welcher Wellenlänge, restlos in elektrische Energie umgesetzt wird.

Von den erwähnten Versuchen wurde eine Entscheidung über diese Möglichkeiten erhofft; im folgenden ist das Ergebnis für X-bestrahltes NaCl zuerst mitgeteilt.

Wir verfahren so, daß wir die zu allerletzt unter II b 2 erwähnte Möglichkeit als der Wirklichkeit entsprechend ansehen und prüfen, ob die daraus sich ergebenden Folgerungen der Erfahrung entsprechen, und weiter, ob auch die anderen Möglichkeiten mit der Erfahrung in Einklang zu bringen sind. Wir setzen somit:

$$S_i = p \cdot \varphi \cdot E,$$

wo mit  $p$  eine für alle Wellenlängen gleiche Konstante, mit  $\varphi$  ein von der Wellenlänge abhängiger, für den in Teil I absorbierten, in elektrische Energie vollständig verwandelten Bruchteil der Lichtenergie maßgebender Faktor<sup>1)</sup> und mit  $E$  die Energie der betreffenden, in den Teil I eindringenden Lichtart bezeichnet ist. Dann ist weiter:

$$S_u = p \varphi (1 - \varphi) E,$$

---

1) Wäre die Platte an allen Stellen gleichmäßig aktiviert, so würde  $\varphi = 1 - e^{-\alpha d}$  sein, wo  $\alpha$  den Extinktionskoeffizienten und  $d$  die Breite eines jeden der beiden Teile I und II der Platte bezeichnet.

wenn angenommen wird, daß die beiden, in Wirklichkeit auch nur um 0,02 cm voneinander entfernten Teile sich berühren. Folglich muß sein:

$$\frac{S_1 - S_{II}}{S_1^2} \cdot E = \frac{1}{p} = \text{constans.}$$

Die Werte  $(S_1 - S_{II}) E / S_1^2$  lassen sich mit Hilfe der Tabellen von S. 125 berechnen und sind, von einem gleichbleibenden Faktor abgesehen, die folgenden:

Aus Tabelle XVI.

$\lambda$	550	512	493	473	454	434	415	395	376	395	$\mu\mu$
$\frac{S_1 - S_{II}}{S_1^2} E$	[81]	29	24	21,5	20,5	21,5	27,5	24	[59]	26,5	
$\lambda$	415	434	454	473	493	512	521	550	567	$\mu\mu$	
$\frac{S_1 - S_{II}}{S_1^2} E$	26	24,5	21,5	21,5	17,8	15,5	19	31	[56]		

Aus Tabelle XVII.

$\lambda$	596	544	501	459	416	374	395	416	438	$\mu\mu$
$\frac{S_1 - S_{II}}{S_1^2} E$	[0]	34	22	21	26,5	[0]	13,5	17,5	22	
$\lambda$	459	501	523	544	566	$\mu\mu$				
$\frac{S_1 - S_{II}}{S_1^2} E$	20	20,5	22,5	19	[0]					

Die eingeklammerten Zahlen, die sich aus den an den Grenzen des benutzten Wellenlängengebietes beobachteten Stromstärken ergeben haben, müssen wegen der Kleinheit der Differenzen  $S_1 - S_{II}$  (z. B. — 0,1, 0,0, — 0,5 Skalenteile) und des verhältnismäßig sehr großen Betrages der zu ihrer Ableitung verwendeten Korrekturen als völlig unsicher außer Betracht bleiben; die unter den übrigbleibenden Zahlen noch bestehenden Verschiedenheiten könnten leicht durch geringfügige, ein paar Zehntel Skalenteile betragende Änderungen an den beobachteten Stromstärken zum Verschwinden gebracht werden, und außerdem ist natürlich mit den oben mehrfach erwähnten Versuchsunsicherheiten zu rechnen. Es ist demnach gerechtfertigt und angezeigt, zur weiteren Verwendung die Mittelwerte aus je vier zu einer Wellenlänge bzw. zu einem engen Wellenlängengebiet gehörenden Zahlen zu wählen; das sind die folgenden:

$\lambda$	$\pm 538$	$\pm 518$	$\pm 497$	473	$\pm 457$	436	416	395
$\frac{S_i - S_n}{S_i^2} E$	22,5	22,5	21	21,5	21	22,5	24,5	24,0

Beachtet man nun, daß die in obige Zahlen proportional eingehenden  $S_i - S_n$  um mehr als das Zwanzigfache ihres Betrages variieren, so wird man unbedenklich die in der Zahlenreihe vorkommenden Schwankungen unvermeidlichen Beobachtungsfehlern und Störungen, von denen in dieser Mitteilung zur Genüge die Rede war, zuschreiben können und zu dem Ergebnis kommen, daß die Versuche die von den oben unter II b 2 angeführten Voraussetzungen verlangte Konstanz des mehrfach genannten Verhältnisses innerhalb eines Wellenlängengebietes von  $\pm 538 - 395 \mu\mu$  bestätigt haben, und daß somit die Erfahrung zugunsten jener Voraussetzungen, jener Ansicht spricht.

Die obige Gleichung kann auch so geschrieben werden:

$$p \frac{S_i - S_n}{S_i} = \frac{S_i}{E},$$

d. h. es muß die Erfahrung auch zu dem Ergebnis führen, daß die  $\lambda, (S_i - S_n)/S_i$ -Kurve durch Multiplikation ihrer Ordinaten mit einem konstanten Faktor in die  $\lambda, S_i/E$ -Kurve übergeführt werden kann. Auch diese Folgerung wurde geprüft, und zwar in der — nach dem obigen Befunde genügend erscheinenden — Weise, daß untersucht wurde, ob die Maxima beider Kurven bei der gleichen Wellenlänge liegen. Zu diesem Zwecke wurden die vier  $\lambda, (S_i - S_n)/S_i$ -Kurven mit Hilfe der Tabb. XVI u. XVII gezeichnet und aus diesen Figuren<sup>1)</sup> die Lage ihrer Maxima entnommen; sie fanden sich bei  $\lambda_{\max.} = 475, 460, 460, 455 \mu\mu$ . Der Mittelwert  $\lambda = 463 \mu\mu$  stimmt in der Tat — zufällig — fast genau mit dem auf S. 129 angegebenen, für die  $\lambda, S_i/E$ -Kurve gefundenen:  $\lambda_{\max.} = 462 \mu\mu$  überein.

Es ist nun noch der Nachweis zu führen, daß die unter II a erwähnte Annahme mit den gewonnenen Versuchsergebnissen nicht vereinbar ist. Wenn eine elektrische Wirkung

---

1) Die Kurven sind im verkleinerten Maßstab wiedergegeben.  
Figg. 13a u. b.

von nicht absorbiertem Licht ausgeübt werden könnte, so müßte die Wirkung des Lichtes nur durch seine Intensität (Energie) und durch eine spezifische Eigenschaft seiner Wellenlänge bedingt sein. Dementsprechend wäre annähernd zu setzen:  $S_i = k \psi (2 - \varphi) E$ , wo  $k$  eine von  $\lambda$  unabhängige Konstante bedeutet, und wo in  $\psi$  jene spezifische Eigenschaft des Lichtes von der Wellenlänge  $\lambda$  ihren Ausdruck findet;  $\varphi E$  sei der im Teil I der Platte stattfindende Verlust an Intensität dieses mit der Intensität  $E$  eindringenden Lichtes, so daß  $\frac{1}{2}(2 - \varphi) E$  annähernd seine mittlere Intensität in

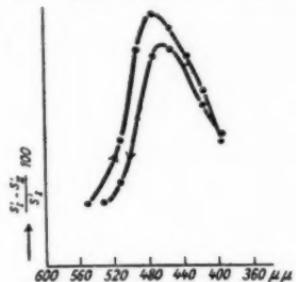


Fig. 13a.

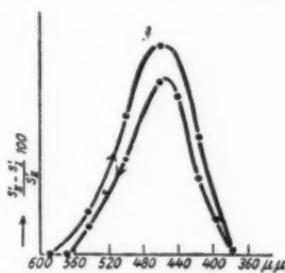


Fig. 13b.

jenem Teil bezeichnet. Dann wäre entsprechend:  $S_u = k \psi (2 - \varphi) (1 - \varphi) E$ , und es ergäbe sich:

$$\frac{S_i - S_u}{S_i^2} E = \frac{1}{k \psi} .$$

Nach dem oben mitgeteilten experimentellen Befund wäre dieser Wert eine von der Wellenlänge unabhängige Größe, und es würde somit allen Lichtarten die gleiche Eigenschaft ( $\psi$ ) zuzuschreiben sein; d. h. alle würden sich nur nach Maßgabe des Ausdrückes  $(2 - \varphi) E$  an der elektrischen Wirkung beteiligen. Ein Maximum der  $\lambda, S$ -Kurve könnte demnach nur außerhalb des roten Endes des Spektrums gelegen sein. Diese Folgerung widerspricht aber offensichtlich der Erfahrung, und damit hat sich die Annahme II a als hinfällig erwiesen.<sup>1)</sup> Mit Hilfe ähnlicher Überlegungen gelangt man auch zu einer Bestätigung des unter II b 1 Gesagten.

1) Eine genauere Rechnung, bei der die durch Absorption bewirkte Verschiedenheit der Lichtintensitäten an verschiedenen Stellen in jedem der beiden Teile der Platte berücksichtigt wird, führt im wesentlichen zu dem gleichen Ergebnis.

Die Versuche über die Abnahme der elektrischen Wirkung auf dem Wege, den das Licht in der Platte durchläuft, haben somit die von vornherein schon als sehr wahrscheinlich zu bezeichnende Ansicht durchaus bestätigt, daß die für die bei X-bestrahltem NaCl beobachteten elektrischen Vorgänge nötige Energie von dem Licht auf dem Wege der Absorption zugeführt wird.

Bezüglich der  $\lambda, (S_i - S_n)/S_i$ -Kurven ist noch folgendes zu erwähnen. Es wird auffallen, daß die aus den auf dem Rückwege von kleineren zu größeren Wellenlängen erhaltenen Stromstärken abgeleiteten Kurven unter den anderen liegen, daß somit die relative Abnahme der elektrischen Wirkung mit der Dicke der vom Licht durchlaufenden Schicht geringer gefunden wurde, wenn mit der Beleuchtung von kleineren zu größeren Wellenlängen, als wenn in umgekehrter Richtung vorgegangen wurde; und weiter, daß die Maxima der ersten genannten Kurven weiter nach kleineren Wellenlängen liegen als die der anderen. Die Erklärung dieser Ergebnisse liegt in der mehrfach erwähnten Tatsache, daß die Aktivität des X-bestrahlten NaCl von selbst, aber durch Beleuchtung bedeutend beschleunigt mit der Zeit abnimmt: da in dem Teil II der Platte die Lichtstärke infolge stattgefunder Absorption kleiner ist als im Teil I, so wird die Abnahme der Lichtempfindlichkeit nach einer gewissen Zeit in diesem Teile größer sein als in jenem, und es muß deshalb das Verhältnis  $(S_i - S_n)/S_i$  zu einer späteren Zeit kleiner gefunden werden als im Anfang, und die Maxima der beiden Kurven müssen in der wahrgenommenen Weise gegeneinander verschoben sein.

Für die Bestimmung der Schwächung, die die elektrische Wirkung des Lichtes auf dem Wege des Lichtes im blauen Steinsalz erfährt, kommen die früher auf S. 167 u. 175 erwähnten Versuche in Betracht, die auch, wie bei den entsprechenden mit der X-bestrahlten Platte, mit einer an zwei hintereinander gelegenen Stellen belegten Platte gemacht wurden.

Ich gab a. a. O. die Gestalt der erhaltenen  $\lambda S$ -Kurve, sowie die Lage ihres Maximums auf der Wellenlängenachse an, und erklärte diese etwas auffallende Gestalt, insbesondere das bei keiner anderen  $\lambda S$ -Kurve beobachtete Auftreten eines Minimums (bei ungefähr 600—620  $\mu\mu$ ) und auch den Unterschied zwischen der Lage ihres Maximums und der Lage

des Maximums, das bei der gleichen, aber in der Dickenrichtung beleuchteten Platte gefunden war. Diese Erklärung ging von der Tatsache aus, daß ein Schwächungsgebiet spektroskopisch konstatiert worden war, dessen dunkelste Stelle, wenn auch mit den verwendeten optischen Instrumenten nicht genauer bestimmbar, doch jedenfalls nicht so sehr weit von dem genannten Minimum gelegen ist. Es fragte sich nun, welches Ergebnis Versuche über die lichtelektrisch zu messende Schwächung liefern. Zur Beantwortung dieser Frage wurde in ähnlicher Weise verfahren, wie es bei dem X-bestrahlten NaCl geschah. Ich sehe, weil die Versuche, wie mehrmals erwähnt, nicht so sorgfältig gemacht wurden, wie die mit X-bestrahltem NaCl, von der Wiedergabe aller Bestimmungen

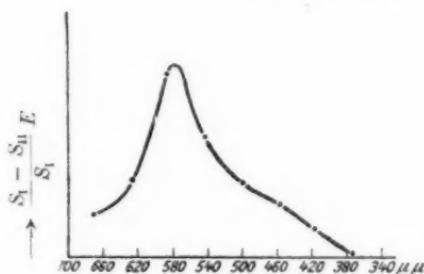


Fig. 14.

ab und führe statt dessen zu einem Vergleich mit jener  $\lambda, S$ -Kurve in der Fig. 14 die Form einer der berechneten Schwächungskurven  $\lambda, (S_i - S_u)E / S_i$  vor. Sie zeigt ein Maximum der Schwächung bei ungefähr  $580 \mu\mu$ , also, wie auch die Maxima der übrigen Schwächungskurven, etwas weiter nach kleineren Wellenlängen gelegen, als das Minimum der  $\lambda S$ -Kurve. Das optisch gemessene größere Absorptionsgebiet lag, wenn es auch nicht genau bestimmt werden konnte, auch ungefähr an derselben Stelle (vgl. S. 184); ich habe deshalb trotz der vorhandenen Unsicherheiten in diesen Bestimmungen — die wohl verdienten, mit größerer Sorgfalt wiederholt zu werden — kein Bedenken, wiederholt diese Absorption als den Grund sowohl für das beobachtete Minimum in den  $\lambda S$ -Kurven als auch für die Verschiebung des Maximums dieser Kurven nach kleineren Wellenlängen zu bezeichnen.

Das erwähnte Minimum in den  $\lambda S$ -Kurven deutet keineswegs an, daß die Lichtempfindlichkeit des blauen Steinsalzes an dieser Stelle ganz besonders gering sein muß: die mit vertikaler Beleuchtung gefundenen Kurven beweisen das Gegenteil. Eine geringe Empfindlichkeit für Licht der der Lage des Minimums entsprechenden Wellenlänge wird nur vorgetäuscht, und zwar dadurch, daß bei der seitlichen, horizontalen Beleuchtung der Platte infolge von Absorption (Schwächung) verhältnismäßig wenig Licht der betreffenden Wellenlänge zu den Stellen gelangt, wo die Elektrizitätsleitung gemessen wird. Ebensowenig braucht das Vorhandensein des Maximums in der Schwächungskurve eine hohe Lichtempfindlichkeit für das betreffende Licht zu bedingen; nur ein geringer Teil dieses Lichtes wird zu einer elektrischen Wirkung verwendet, und der größere Teil wird entweder in Wärme umgesetzt oder abgebengt. Daß die Schwächungskurve kein, oder jedenfalls kein ausgesprochenes Maximum an der Stelle der größten elektrischen Wirkung aufweist, röhrt von dem überwiegenden Einfluß des benachbarten, nach größeren Wellenlängen zu gelegenen Gebietes stärkerer Schwächung her. Man könnte aber leicht zwei Schwächungskurven konstruieren, deren Kombination die gezeichnete Kurve ergeben würde, und von denen die niedrigere ihr Maximum an der Stelle größter elektrischer Wirkung hätte; die Form des absteigenden Astes der Figur deutet sogar auf diese Möglichkeit hin.

Es liegt beim blauen NaCl offenbar der oben auf S. 187 unter II b 1 erwähnte Fall vor, wo zwischen der gesamten und der für die elektrische Wirkung nötigen Lichtabsorption keine einfache Beziehung besteht.

---

Die Wahrnehmung, daß X-bestrahltes und blaues Steinsalz durch Beleuchtung eine gewisse „Leitfähigkeit“ erhalten können, wurde im Jahre 1904 gemacht, und wir bildeten uns sofort auf Grund der in Wied. Ann. 59. S. 187. 1896 veröffentlichten Beobachtung der Herren Elster und Geitel, nach der durch Kathodenstrahlen eine Anzahl von Mineralien (darunter auch NaCl) lichtempfindlich im Hallwachs'schen Sinn gemacht werden können, sowie der Ergebnisse der ultramikroskopischen Untersuchung von farbigen NaCl-Präparaten durch Hrn. Siedentopf, die Vorstellung, daß es sich bei

unseren Versuchen um eine durch äußere elektrische Kräfte im Innern der Kristalle veranlaßte Verschiebung von durch Beleuchtung beweglich gemachten Elektronen der Na-Teilchen<sup>1)</sup> handele. Kurze Zeit nachher erschienen die Arbeiten von Hrn. Scholl bzw. von Hrn. Wilson, durch die das Vorhandensein einer Elektronenleitung im beleuchteten, elektrischen Kräften ausgesetzten Jodsilber als sehr wahrscheinlich nachgewiesen wurde; diese Arbeiten bestärkten uns in unserer Ansicht. Die spezielle, den sichtbaren und den verwendeten ultravioletten Strahlen nicht zukommende Eigenschaft der X-Strahlen, Steinsalz für die genannte Beeinflussung durch Licht empfänglich zu machen, beruht wohl sicher auf ihrem großen Wirkungsquantum und ihrer Absorbierbarkeit im NaCl. Für sehr beachtenswert halte ich die vielleicht zu einer Erklärung der Wirkung der X-Strahlen führende Tatsache, daß die untersuchten Körper sowohl bei dem Entstehen (d. h. während ihrer Bestrahlung), als beim Verschwinden (d. h. bei ihrer Erhitzung) der durch die Bestrahlung hervorgerufenen Veränderungen in charakteristischer Farbe leuchten.

Es ist mir bis jetzt nicht gelungen, alle beobachteten Einzelheiten, wie z. B. die Ermüdung, die Erholung, die Polarisation, die verschiedenen Nachwirkungen, den Temperatureinfluß, in den Rahmen unserer oben mitgeteilten Vorstellung ohne gegenseitigen Zwang, d. h. ohne ad hoc gemachte Hypothesen, einzufügen.

Dem Institutsassistenten Hrn. Dr. Lang, der mir bei der Fertigstellung des Manuskripts wesentliche Hilfe leistete, sage ich auch hier meinen besten Dank.

München, Frühjahr 1920.

1) Vgl. S. 131.

(Eingegangen 22. Juli 1920.)

**2. Weitere Untersuchungen über den Faradayeffekt  
nicht ferromagnetischer Metalle;  
von B. Pogány.**

In einer kurzen Notiz<sup>1)</sup>) habe ich schon über Versuche berichtet, deren Zweck war, den Faradayeffekt nichtferromagnetischer Metalle nachzuweisen.

In einem durch Kathodenerstäubung hergestellten, in Fig. 1 im Durchschnitt schematisch skizzierten Präparat, ergab sich die magnetische Drehung der Polarisationsebene monochromatischen Lichtes in der rechten Hälfte des Präparates größer als in der linken Hälfte, und die Differenz war

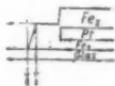


Fig. 1.

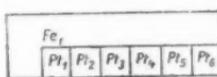


Fig. 2.

einfach als die auf die rechts befindliche Pt-Schicht entfallende magnetische Drehung aufzufassen. Ich habe die diesbezüglichen Untersuchungen weitergeführt und die dabei erhaltenen Resultate in den folgenden Zeilen zusammengestellt.

Die Versuchsanordnung ist die alte geblieben, nur die Herstellung der Präparate habe ich ein wenig abgeändert. Um nämlich die Konstanz der Dicke der Eisenschichten bei den ausgedehnteren (26 · 76 mm) treppenförmigen Präparaten kontrollieren zu können, habe ich die Treppen des nichtferromagnetischen Metall's auf die eine Hälfte der Platte beschränkt (Fig. 2), um entlang der anderen Hälfte überall die Drehung auch in der Fe<sub>₁</sub> bzw. Fe<sub>₂</sub>-Schicht messen zu können.

§ 1. Vor der Mitteilung weiterer Messungsergebnisse soll eine an den beobachteten Drehungswinkeln im allgemeinen anzubringende Korrektion besprochen werden, welche durch

1) B. Pogány, Physik. Zeitschr. S. 422, 1917.

die Anwendung einer Halbschattenplatte zur empfindlichen Einstellung des Analysators bedingt wird.

Die Theorie der bei Anwendung einer Halbschattenplatte an den beobachteten Winkeln der magnetischen Drehung anzubringenden Korrektion hat W. Voigt gegeben<sup>1)</sup> im Falle durchsichtiger magnetisch aktiver Medien. Bedeutet  $\vartheta$  die beobachtete magnetische Drehung,  $J$  die Intensität des die magnetisch aktive Schicht einmal durchsetzenden Lichtes,  $j$  die Intensität des Lichtes, das die aktive Schicht infolge innerer Reflexionen dreimal durchsetzt hat, so ist die Korrektion

$$(1) \quad d\vartheta = - \frac{j}{J} \sin 4\vartheta.$$

Da nun  $\vartheta$  der aktiven Schichtdicke proportional,  $j/J$  aber bei durchsichtigen Medien davon unabhängig ist, so ist auch  $d\vartheta$  proportional der Dicke der Schicht, kann also bei durchsichtigen Substanzen eventuell beträchtliche Werte erreichen. Bei absorbierenden magnetisch aktiven Substanzen, z. B. Eisenschichten, wird natürlich  $j/J$  ebenfalls von der Schichtdicke abhängen und zwar erfreulicherweise derart, daß die Korrektion eine kleine maximale Größe nicht überschreiten kann.

Es bedeute  $J_0$  die Intensität der auf die Eisenschicht senkrecht einfallenden linear polarisierten ebenen Lichtwelle,  $R'$  und  $R''$  das Reflexionsvermögen der die Eisenschicht begrenzenden Ebenen bei senkrechter Inzidenz,  $D'$  und  $D''$  die Durchlässigkeit derselben Grenzebenen. Dann ist

$$(2) \quad \begin{cases} j = J_0 R' R'' D' D'' e^{-\frac{4\pi}{\lambda} n \kappa z}, \\ J = J_0 D' D'' e^{-\frac{4\pi}{\lambda} n \kappa z}, \\ \frac{j}{J} = R' R'' e^{-\frac{8\pi}{\lambda} n \kappa z}, \end{cases}$$

wobei  $\lambda$  die in Luft gemessene Lichtwellenlänge,  $n$  und  $\kappa$  den Brechungs- bzw. den Absorptionsindex von Fe und  $z$  die Dicke der Eisenschicht bedeutet. Da  $\vartheta$  proportional  $z$  ist, schreiben wir

$$4\vartheta = cz,$$

wo  $c$  also das Vierfache des Winkels ist, um welchen eine Eisenschicht von der Dicke Eins, die Polarisationsebene des Lichtes

---

1) W. Voigt, Magneto- und Elektrooptik. S. 13.

dreht.  $c$  ist noch von  $\lambda$  und von der magnetischen Feldstärke abhängig. Die Korrektion wird also:

$$(3) \quad d\vartheta = -\frac{R' R''}{2} e^{-\frac{8\pi}{\lambda} n \kappa z} \sin c z,$$

erreicht also eine maximale Größe bei dem durch die Gleichung

$$-\frac{8\pi}{\lambda} n \kappa e^{-\frac{8\pi}{\lambda} n \kappa z} \sin c z + c e^{-\frac{8\pi}{\lambda} n \kappa z} \cos c z = 0$$

bestimmten Werte von

$$(4) \quad z_{\max.} = \frac{1}{c} \operatorname{arctg} \frac{e \lambda}{8\pi n \kappa}.$$

Betrachten wir nun Eisenschichten, die bis zur Sättigung magnetisiert sind und benutzen wir z. B. Licht von der Wellenlänge  $\lambda = 500 \mu\mu$ . Dann wird nach eigenen Messungen, die mit den Lobachschen<sup>1)</sup> gut übereinstimmen, die Polarisationsebene pro  $\mu\mu$  um 0,94 Winkelminuten gedreht, also  $c = 3,76 \text{ Min.}/\mu\mu$ . Es ist weiterhin ebenfalls nach eigenen Beobachtungen an kathodenerstauten Eisenschichten  $n = 2,42$ ,  $\kappa = 0,84$ , also wird

$$z_{\max.} = \frac{1}{3,76} \operatorname{arctg} \frac{0,00109 \cdot 500}{8\pi \cdot 2,03} \mu\mu = 9,86 \mu\mu.$$

Die Korrektion erreicht also bei Eisenschichten und für die benutzte Lichtart schon bei  $10 \mu\mu$  ihren größten Wert. Wollen wir nun die Korrekturen  $d\vartheta_1$ ,  $d\vartheta_2$ ,  $d\vartheta_{1+2}$  für die drei Eisenschichten (Fig. 1)  $\text{Fe}_1$ ,  $\text{Fe}_2$  und  $\text{Fe}_1 + \text{Fe}_2$  berechnen, so muß man noch das Reflexionsvermögen an den Grenzen der in Betracht kommenden Medien:

	$n$	$n \kappa$
Luft	1,0	0
Glas	1,5	0
Pt	2,28	3,38
Fe	2,42	2,03

nach der Formel

$$R_{12} = \frac{(n_1 - n_2)^2 + (n_1 \kappa_1 - n_2 \kappa_2)^2}{(n_1 + n_2)^2 + (n_1 \kappa_1 + n_2 \kappa_2)^2}$$

in Rechnung setzen. Es wird:

$$R_{\text{L}, \text{Fe}} = 0,388, \quad R_{\text{Gl}, \text{Fe}} = 0,255, \quad R_{\text{Pt}, \text{Fe}} = 0,036.$$

1) W. Lobach, Ann. d. Phys. 39, S. 358, 1890.

Setzt man diese Werte in den Ausdruck Gleichung (3) für  $d\vartheta$  ein, so kann man die Korrekturen als Funktionen von  $z$  berechnen. Sie sind in der Fig. 3 dargestellt. Für uns handelt es sich um die Korrektion

$$(5) \quad d\vartheta_1 + d\vartheta_2 - d\vartheta_{1+2},$$

die an der auf die PlatinSchicht entfallenden magnetischen Drehung der Pol-Ebene anzubringen ist, die sich ja als die

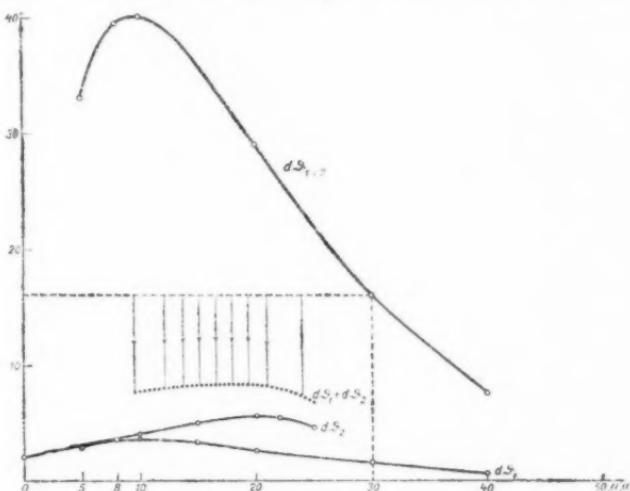


Fig. 3.

Differenz der in den beiden Hälften des Präparates beobachteten Drehungen ergibt. Der Wert von Gleichung (5) hängt bei gegebener Gesamtdicke der Schicht  $Fe_1 + Fe_2$  noch ab von der Verteilung dieser Dicke auf die zwei Schichten  $Fe_1$  und  $Fe_2$ . Es sei z. B. die Gesamtdicke  $30 \mu\mu$ . Spiegelt man dann die Kurve für  $d\vartheta_2$  an der Achse  $z = 15 \mu\mu$ , wie in Fig. 3, so erhält man durch Addition von  $d\vartheta_1$  und  $d\vartheta_2$  die punktierte Kurve, welche  $d\vartheta_1 + d\vartheta_2$  für alle möglichen Verteilungen angibt. Um Gleichung (5) zu bekommen, hat man noch von der punktierten Kurve die zu  $30 \mu\mu$  gehörige Ordinate von  $d\vartheta_{1+2}$  zu subtrahieren. Die Pfeile geben die Korrektion Gleichung (5) nach Vorzeichen und Größe. Unter den betrachteten Verhältnissen ist nun die Drehung einer ent-

sprechend dicken Pt-Schicht 10—18 Bogenminuten, die Korrektion daneben also meistens zu vernachlässigen. Es ist noch zu bemerken, daß die Korrektion je nach den Verhältnissen positiv oder negativ sein kann. Auf keinen Fall ist es aber möglich das Resultat meiner Beobachtungen, daß nämlich in der rechten Hälfte des in Fig. 1 skizzierten Präparates die magnetische Drehung der Polarisationsebene größer gefunden wurde als in der anderen, welche Differenz dann als die gesuchte magnetische Drehung des Pt-s aufgefaßt wurde, durch diese Korrektion, d. h. durch sekundäre Ursachen zu erklären. Die Korrektion wegen der Glasplatte als aktiven Schicht, welche an verschiedenen Stellen durch verschiedene reflektierende Flächen begrenzt wird, kommt auch nicht in Betracht, wie das direkt experimentell beobachtet wurde.

§ 2. In meiner vorläufigen Mitteilung habe ich ausführlicher über Messungen an Pt berichtet. Neuere Messungen habe ich an Pd, Ag, Cu, Bi und einige an Cd ausgeführt. Zur Erläuterung der Tabellen sei bemerkt, daß mit  $Ag_k$  die Drehung in der  $k^{ten}$  Ag-Treppe bezeichnet ist, deren Dicke  $k$  mal so groß ist als diejenige von  $Ag_1$ , die in der 5. Kolonne angeführt ist und zwar stehen in der ersten Reihe immer die unter dem Einfluß von  $Fe_1$  entstandenen Drehungen, also  $[(Fe_1 + Ag_k) - Fe_1]$ , in der zweiten Reihe die unter dem gleichzeitigen Einfluß von  $Fe_1$  und  $Fe_2$  entstandenen Drehungen, also  $(Fe_1 + Ag_k + Fe_2) - (Fe_1 + Fe_2)$ . Die Angaben beziehen sich auf Licht von der Wellenlänge  $\lambda = 590 \mu\mu$  und auf ein äußeres magnetisches Feld von 28,4 Kilogaß.

Die Silbertreppen 4 und 5 an Platte 77 waren nicht metallisch reflektierend, sondern perlmuttgrau; das macht sich auch in ihrer Drehung bemerkbar. Am Präparat 85 hat das Hinzusetzen von  $Fe_2$  die unter dem Einfluß von  $Fe_1$  zustande gekommene Drehung im Silber vergrößert, am Präparat 77 verkleinert. Es mag das mit den verschiedenen Dicke dieser  $Fe_2$ -Schichten zusammenhängen (vgl. S. 208 u. Fig. 9). In einem der günstigsten Fälle, z. B. bei 85  $Ag_4$  zwischen  $Fe_1$  und  $Fe_2$  betrug die magnetische Drehung der Polarisationsebene 0,65 Bogenminuten pro  $\mu\mu$ , während unter gleichen Verhältnissen das Eisen 1,2 Minuten pro  $\mu\mu$  dreht.

Es sei bemerkt, daß die ersten drei Treppen des Cu-Präparates 106 und die 2. und 5. Treppe von 110 dem äußeren

Aussehen nach zu urteilen nicht reines, metallisches Cu waren. Die Treppen waren nicht metallisch reflektierend, sondern „blind“, und waren z. B. die Treppen 1 und 2 an 106 im durch-

Tabelle 1.

Dicke von						Drehung in				
in	Glas	Fe <sub>1</sub>	Fe <sub>2</sub>	Ag <sub>1</sub>	Ag <sub>2</sub>	Ag <sub>3</sub>	Ag <sub>4</sub>	Ag <sub>5</sub>	Ag <sub>6</sub>	
mm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	
77	0,84	13,15	—	7,4	1' 6"	5' 20"	9' 11"	11' 46"	12' 23"	
	0,84	13,15	42,5	7,4	1' 17"	5' 15"	8' 25"	5' 31"	9' 8"	
79	0,84	39,0	—	15,2	7' 57"	10' 7"	12' 22"	—	—	
85	0,75	20,6	—	7,0	0' 10"	2' 55"	7' 52"	9' 28"	9' 02"	
	0,75	20,6	18,3	7,0	-0' 55"	6' 30"	15' 30"	17' 52"	18' 40"	
87	0,49	56,0	—	27,8	5' 30"	6' 45"	—	—	—	

Tabelle 2.

Dicke von						Drehung in				
in	Glas	Fe <sub>1</sub>	Fe <sub>2</sub>	Cu <sub>1</sub>	Cu <sub>2</sub>	Cu <sub>3</sub>	Cu <sub>4</sub>	Cu <sub>5</sub>	Cu <sub>6</sub>	
mm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	μm	
104	0,67	36	—	11,4	1' 32"	4' 42"	5' 52"	5' 15"	5' 50"	6' 02"
	0,67	36	—	11,4	7' 02"	5' 32"	2' 30"	3' 36"	—	—
106	0,70	22	—	9,0	-5' 45"	0' 25"	2' 00"	6' 15"	6' 14"	6' 57"
110	0,72	20	—	16,5	4' 50"	4' 32"	7' 35"	7' 50"	6' 00"	—
111	0,65	10	—	21,0	6' 58"	8' 42"	10' 12"	10' 21"	—	—

gehenden Lichte heller als Fe<sub>1</sub> allein, was besagen würde, daß auch der unter Treppe 1 und 2 liegende Teil der Fe<sub>1</sub>-Schicht von der (wahrscheinlichen) Oxydation angegriffen war.

Wie aus der 3. Tabelle zu ersehen ist, wird die Drehung in Bi nach Hinzutreten der  $\text{Fe}_2$ -Schicht negativ. Eine einzige

Tabelle 3.

in mm	Dicke von						Drehung in				
	Glas	Fe <sub>1</sub>	Fe <sub>2</sub>	Bi <sub>1</sub>	Bi <sub>2</sub>	Bi <sub>3</sub>	Bi <sub>4</sub>	Bi <sub>5</sub>	Bi <sub>6</sub>	Bi <sub>7</sub>	
	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	
88	0,72	12,7	—	14,0	2° 10'	5° 30'	7° 40'	6° 30''	6° 50''	5° 0'	
89	0,72	12,7	38,8	14,0	-1° 10'	-2° 30'	-2° 47'	-9° 10''	-11° 25''	-18° 2''	
	0,68	36,0	—	25,0	1° 25'	8° 52'	9° 36'	—	—	—	
94	0,65	42,0	35,0	25,0	-7° 43'	-5° 00'	—	—	—	—	
	0,65	42,0	—	12,0	-1° 40'	3° 35'	—	—	—	—	
95	0,72	33,0	—	12,0	-1° 08'	-3° 00'	—	—	—	—	
	0,72	33,0	14,4	26,0	3° 00'	3° 55'	3° 16'	—	—	—	
96	0,72	15,0	—	26,0	-3° 30'	-2° 15'	-3° 10'	—	—	—	
	0,72	15,0	39,0	2,4	0° 35'	0° 45'	2° 05'	1° 45'	2° 00''	1° 55''	
					—	0° 25'	4° 10'	2° 15'	4° 00''	3° 50''	

Tabelle 4.

in mm	Dicke von						Drehung in				
	Glas	Fe <sub>1</sub>	Fe <sub>2</sub>	Cd <sub>1</sub>	Cd <sub>2</sub>	Cd <sub>3</sub>	Cd <sub>4</sub>	Cd <sub>5</sub>	Cd <sub>6</sub>	Cd <sub>7</sub>	
	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	$\mu\mu$	
97	0,55	20,8	—	5,4	-1° 30'	5° 53'	6° 08''	6° 48''	6° 30''	—	
	0,55	20,8	16,6	5,4	-2° 20'	0° 50'	2° 30'	2° 55'	2° 05''	—	
98	0,66	21,0	—	7,0	-1° 00'	0° 00''	4° 33'	5° 30''	7° 00''	5° 12''	
	0,66	21,0	20,0	7,0	-3° 00'	-1° 10'	-4° 35'	-5° 25'	-6° 40''	—	

Ausnahme bildete das Bi-Präparat 96, was vielleicht mit der äußerst geringen Dicke der darauf befindlichen Bi-Schichten zusammenhängt.

§ 3. Ich habe auch die magnetische Rotationsdispersion der Metalle Pt, Pd, Ag, Cu und Bi wenigstens im gut sichtbaren Teile des Spektrums von  $\lambda = 500 \mu\mu$  bis  $\lambda = 650 \mu\mu$  untersucht.

Was die magnetische Rotationsdispersion von Pt und Pd anbelangt, so ist sie minimal; die magnetische Drehung der Polarisationsebene verändert sich im untersuchten Teile des Spektrums sehr langsam mit der Wellenlänge. In der kleinen Tab. 6 sind einige diesbezügliche Angaben gemacht worden.

Tabelle 6.

$\lambda =$	Drehung in		
	$500 \mu\mu$	$590 \mu\mu$	$650 \mu\mu$
55 Pt	$20' 40''$	$18' 46''$	$19' 10''$
75 Pd <sub>3</sub>	$6' 00''$	$7' 27''$	$7' 15''$
84 Pd <sub>2</sub>	$9' 02''$	$9' 15''$	$8' 30''$

Die magnetische Rotationsdispersion von Ag ist stark anomalous, die Drehung wächst annähernd linear mit der Wellenlänge (vgl. Fig. 4). In der letzten Kolonne

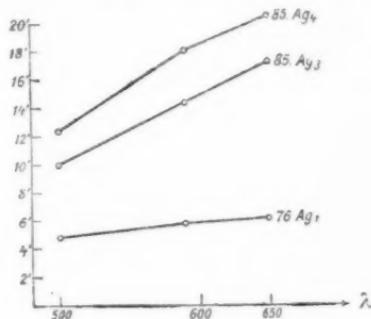


Fig. 4.

der Tab. 7 ist die Abnahme der Drehung von  $\lambda = 650 \mu\mu$  bis  $\lambda = 500 \mu\mu$  in Prozenten der bei  $\lambda = 650 \mu\mu$  beobachteten Drehung ausgedrückt.

Tabelle 7.

$\lambda =$	500 $\mu\mu$	590 $\mu\mu$	650 $\mu\mu$	
76 Ag <sub>1</sub>	4' 44"	5' 46"	6' 17"	25,4 Proz.
85 Ag <sub>2</sub>	9' 57"	14' 25"	17' 24"	42,5 "
85 Ag <sub>3</sub>	12' 22"	18' 17"	20' 35"	40,0 "

Ebenfalls anomal ist die magnetische Rotationsdispersion von Cu.

Tabelle 8.

$\lambda =$	500 $\mu\mu$	590 $\mu\mu$	650 $\mu\mu$	Anmerkung
74 Cu <sub>1</sub>	8' 10"*	10' 20"	13' 12"	
106 Cu <sub>1</sub>	3' 30"	5' 45"	4' 40"	oxidiert in der Durchsicht heller als Fe <sub>1</sub> allein
Cu <sub>2</sub>	1' 10"	0' 40"	0' 35"	milchig, matt
Cu <sub>3</sub>	3' 25"	2' 00"	1' 01"	
Cu <sub>4</sub>	5' 52"	6' 16"	6' 14"	
Cu <sub>5</sub>	6' 00"	6' 11"	7' 15"	
Cu <sub>6</sub>	5' 18"*	6' 57"	9' 17"	
110 Cu <sub>1</sub>	3' 43"*	4' 50"	6' 25"	
Cu <sub>2</sub>	4' 40"	4' 32"	5' 55"	milchig trübe
Cu <sub>3</sub>	5' 30"*	7' 35"	10' 52"	
Cu <sub>4</sub>	6' 04"*	7' 50"	10' 20"	
Cu <sub>5</sub>	3' 05"	6' 00"	7' 00"	ganz schwach matt
111 Cu <sub>1</sub>	5' 12"*	6' 48"	9' 02"	
Cu <sub>2</sub>	6' 42"*	8' 42"	10' 47"	
Cu <sub>3</sub>	—	10' 12"	12' 02"	
Cu <sub>4</sub>	—	10' 21"	11' 00"	
112 Cu <sub>5</sub>	7' 30"	—	9' 45"	

In der letzten Kolonne der Tab. 8 sind die Cu-Schichten bezeichnet, die dem bloßen Aussehen nach zu urteilen nicht tadellos metallisch, sondern oxydiert waren. Dieser Umstand machte sich schon bemerkbar in Tab. 2 bei der Untersuchung der Abhängigkeit der magnetischen Drehung von der Schichtdicke und offenbart sich nun wieder in der Dispersion dieser Cu-Schichten. Die mit einem \* bezeichneten, tadellosen, metallisch reflektierenden Cu-Schichten weisen eine anomale Rotationsdispersion von bemerkenswerter Regelmäßigkeit auf, wie das Fig. 5 und auch die folgende kleine Zusammenstellung zeigt, in welcher für die genannten Cu-Schichten die Abnahme der magnetischen Drehung von  $\lambda = 650 \mu\mu$  bis  $\lambda = 500 \mu\mu$

in Prozenten der bei  $\lambda = 650 \mu\mu$  beobachteten Drehung ausgedrückt ist.

	74 Cu <sub>1</sub>	111 Cu <sub>2</sub>	110 Cu <sub>4</sub>	110 Cu <sub>2</sub>	106 Cu <sub>6</sub>	111 Cu <sub>1</sub>	110 Cu <sub>1</sub>
37 Proz.	30	42	66	49,5	54	21	16,5
D <sub>Cu</sub> in $\mu\mu$	20	10	20	20	22	10	20
D <sub>Fe<sub>2</sub></sub> in $\mu\mu$	13,3	—	—	—	—	—	—

Man sieht, daß die prozentuale Abnahme an verschiedenen dicken Cu-Schichten verschiedener Präparate und unter dem Einfluß verschieden dicker Eisenschichten immer ungefähr

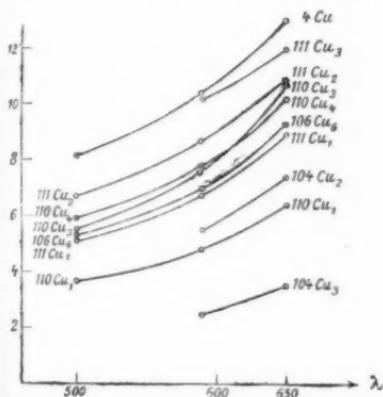


Fig. 5.

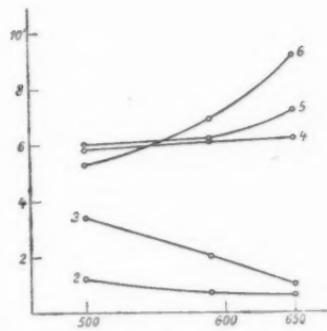


Fig. 6.

dieselbe ist. Dementsprechend ist die Dispersionskurve solcher Schichten, an denen die Drehung im absoluten Werte kleiner ist, auch weniger steil. Die Rotationsdispersion der oxydierten Schichten dagegen ist ganz oder teilweise normal. Instruktiv ist von diesem Standpunkt das Präparat Nr. 106, bei welchem Cu<sub>1</sub> gänzlich oxydiert zu sein scheint und normale Rotationsdispersion besitzt, Cu<sub>6</sub> dagegen tadellos metallisch reflektierend anomale Rotationsdispersion aufweist von der Regelmäßigkeit der in Fig. 5 gezeichneten Dispersionskurven. Die dazwischen liegenden vier Schichten, von denen Cu<sub>2</sub> und Cu<sub>3</sub> äußerlich Cu<sub>1</sub> ähnlich sahen, während Cu<sub>4</sub> und Cu<sub>5</sub> metallisch reflektierten, vermittelten den Übergang von der normalen Rotationsdispersion von Cu<sub>1</sub> zu der anomalen von Cu<sub>6</sub>. Wie

aus Fig. 6 ersichtlich, besitzen die Treppen Cu<sub>4</sub> und Cu<sub>5</sub> trotz ihrer metallischen Reflexion nicht die an Cu<sub>6</sub> und anderen Cu-Schichten beobachtete Regelmäßigkeit der magnetischen Rotationsdispersion. Es ist zu vermuten, daß sie in ihren unteren Teilen ähnlich Cu<sub>1</sub>—Cu<sub>3</sub> ebenfalls teilweise oxydiert sind. Die magnetische Rotationsdispersion scheint demnach gegen derartige Verunreinigungen ebenso empfindlich zu sein, wie die Dispersion von  $n$  und  $\alpha$ .

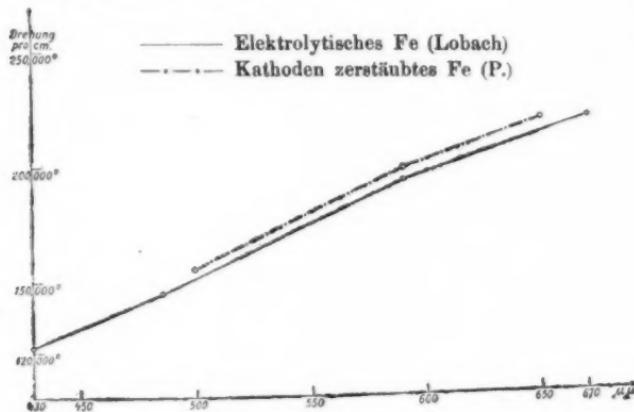


Fig. 7.

Bei diesen Untersuchungen ergab sich nebenbei auch die magnetische Rotationsdispersion der Fe<sub>1</sub>-Schichten, an denen z. B. die Cu-Schichten angrenzten. Die magnetische Rotationsdispersion des Eisens hat bekanntlich Lobach<sup>1)</sup> in seiner schönen Arbeit an elektrolytisch hergestellten Fe-Schichten bestimmt. Skinner und Tool<sup>2)</sup> haben für die spezifische Drehung an kathodenzersetzbaren Eisenschichten Werte beobachtet, die zwei- bis dreimal größer sind als die von Lobach gemessenen und auch die Kurve der magnetischen Rotationsdispersion ist bei ihnen steiler als bei Lobach. Ingersoll<sup>3)</sup> hat auf die Fehler der Dickenbestimmung bei Skinner und Tool hingewiesen und an kathodenzersetzbaren Eisenschichten ähnliche Werte wie Lobach erhalten. Die von mir an kathoden-

1) W. Lobach, Ann. d. Phys. **39**, S. 347. 1890.

2) Skinner u. Tool, Phil. Mag. (6) **16**, S. 833. 1908.

3) L. R. Ingersoll, Phil. Mag. (6) **18**, S. 74. 1909.

zerstäubten Fe-Schichten gemessenen Werte der magnetischen Drehung der Polarisationsebene des Lichtes schließen sich den Lobachschen genau an. In Fig. 7 ist die Lobachsche magnetische Rotationsdispersionskurve ausgezogen, die von mir beobachtete punktiert gezeichnet. Die Absolutwerte der Drehung sind bei mir im Durchschnitt um 2,5 Proz. größer. Die Dicke der Fe-Schichten, die zur Bestimmung der magnetischen Rotationsdispersion des Eisens herangezogen wurden, habe ich durch Wägung an einer Nemetschen Mikrowage bestimmt.

§ 4. Zuletzt habe ich einige Versuche über die Abhängigkeit der im nichtferromagnetischen Metall beobachteten magnetischen Drehung der Polarisationsebene des Lichtes von der Dicke der das molekulare magnetische Feld hervorrufenden Fe-Schicht

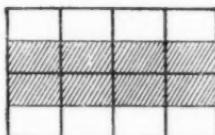


Fig. 8.

angestellt. Zu diesem Zwecke habe ich auf kleinen Glasplatten von der Größe  $8 \times 26 \text{ mm}^2$  Eisenschichten von verschiedener Dicke hergestellt und 8 Stück davon gleichzeitig unter eine Pt-Kathode gelegt und die Hälfte ihrer Oberfläche (vgl. Fig. 8) bestäubt. Es wurden auf diese Weise auf verschiedenen dicken Eisenschichten Pt-Schichten genauso gleicher Dicke hergestellt. Die Dicke der Pt-Schichten habe ich durch Wägung bestimmt, diejenige der Eisenschichten aus ihrer magnetischen Drehung berechnet.

Es wurde dann in der üblichen Weise die Drehung bei  $\lambda = 590 \mu\mu$  in den beiden Hälften des Präparates gemessen. Die auf die Pt-Schicht entfallende Drehung als Funktion der Dicke der Fe-Schicht ist in der Fig. 9 für drei verschiedene dicke Pt-Schichten dargestellt. Bis die Dicke der Eisenschicht kleiner als  $10 \mu\mu$  ist, ist die Drehung in Pt gering. Das hängt damit zusammen, daß, wie ich Gelegenheit hatte zu beobachten, Eisenschichten von geringerer Dicke als  $10 \mu\mu$  selbst eine geringere spezifische magnetische Aktivität besitzen als dickere

Eisenschichten. Die spezifische magnetische Aktivität der Fe-Schichten wächst mit der Dicke bis  $10 \mu\mu$ , bei welcher kritischen Dicke der maximale und von nun an von der Dicke unabhängige konstante Wert erreicht wird. Bei dieser kritischen

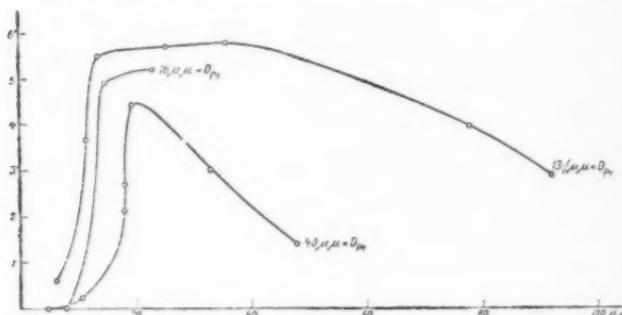


Fig. 9.

Dicke wächst auch die im Pt hervorgerufene magnetische Drehung rapid mit der Dicke um nach Erreichung eines maximalen Wertes mit wachsender Dicke, der Eisenschicht wieder langsam abzunehmen. Eine Erklärung des letzteren Verhaltens steht noch aus. Ich habe vor, in dieser Richtung weitere Beobachtungen anzustellen.

Budapest, August 1920.

(Eingegangen 17. August 1920.)

